

IAP20 Rec'd PCT/PTO 11 JAN 2006

明 細 書

磁気共鳴イメージング方法及び装置

技術分野

- [0001] 本発明は、磁気共鳴イメージング(以下、MRIという。)方法及び装置に係り、特に、傾斜磁場の印加に起因して発生する残留磁場を、傾斜磁場の印加履歴を考慮に入れてリアルタイムに補正する技術に関する。

背景技術

- [0002] MRI装置は、均一な静磁場内に置かれた被検体に電磁波を照射したときに、被検体を構成する原子の原子核に生じる核磁気共鳴現象を利用し、被検体からの核磁気共鳴信号(以下、NMR信号という。)を検出し、このNMR信号を使って画像を再構成することにより、被検体の物理的性質をあらわす磁気共鳴画像(以下、NMR画像という。)を得るものである。このイメージングの位置情報を与えるために、静磁場に重畳して傾斜磁場が印加される。
- [0003] MRI装置において静磁場発生源として永久磁石等の強磁性体を用いた場合には、上記傾斜磁場の印加によってヒステリシス現象を伴う残留磁場が発生する。この残留磁場は永久磁石等が強磁性体であることに起因して生じる残留磁化によるものであり、傾斜磁場の印加を止めてもその印加履歴に応じた強度、方向の磁場が残ってしまう。これは、傾斜磁場の印加によって構造体に発生する渦電流とともに、撮影空間の磁場を複雑にし画質劣化の原因となる。
- [0004] 残留磁場がMRI装置に与える影響を取り除く技術として、特許文献1記載の従来技術がある。
- [0005] 特許文献1:特開2000-157509号公報。
- [0006] しかしながら、特許文献1記載の従来技術では、消磁磁場によって消磁した後に印加するテスト傾斜磁場について、残留磁場を計測して傾斜磁場の補正量をテーブル化あるいは関数化して求めているが、その印加履歴が考慮されていない。

発明の開示

- [0007] 本発明の目的は、傾斜磁場の印加に起因して発生する残留磁場を、傾斜磁場の

印加履歴を考慮に入れてリアルタイムに補正することが可能な磁気共鳴イメージング方法および装置を提供することである。

- [0008] 上記目的を解決するために、本発明の磁気共鳴イメージング方法は、(1)少なくとも1パルス以上の傾斜磁場を連続して印加する工程と、(2)前記傾斜磁場によって磁石装置に発生する残留磁場を、印加する傾斜磁場の強度とそれによって発生する残留磁場の強度との関係を表す残留磁場応答関数をもとに計算する工程と、(3)前記計算した残留磁場を補正する工程とを有する磁気共鳴イメージング方法において、(4)前記工程(2)において用いる残留磁場応答関数を、前記連続して印加する傾斜磁場の印加履歴に依存させて時間とともに更新する工程を有することを特徴としている。
- [0009] 上記本発明によれば、傾斜磁場の印加に起因して発生する残留磁場を、傾斜磁場の印加履歴を考慮に入れてリアルタイムに補正することができる。
- [0010] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記工程(1)～(4)が実行される前に、(5)前記磁石装置に発生する残留磁場を消磁するとともに、前記残留磁場応答関数を消磁後のもととなるよう初期化する工程が実行されることを特徴としている。
- [0011] 上記実施例によれば、消磁後の磁石装置を用いて磁気共鳴イメージング方法を行うので、工程(4)において用いる残留磁場応答関数の更新に誤差が含まれる場合には、その誤差を最小限として、より正確な残留磁場の補正が可能となる。
- [0012] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記工程(1)～(5)が実行される前に、(6)消磁後、あるいは、消磁後に少なくとも1パルス以上の傾斜磁場を印加した後における残留磁場応答関数を求めて、それをキャリブレーションデータとして記憶する工程が実行されることを特徴としている。
- [0013] 上記実施例によれば、工程(1)～(5)を行う前に、磁石装置の残留磁場応答関数のうち基本的なものが予め求められるので、それをキャリブレーションデータとして用いて、任意の印加履歴に依存させた残留磁場応答関数の更新を行うことができる。
- [0014] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記工程(3)による残留磁場の補正は、補正磁場を前記傾斜磁場に重畳して印加することによ

り行うことを特徴としている。

- [0015] 上記実施例によれば、残留磁場の補正を、残留磁場の発生とともにリアルタイムに行うことができる。
- [0016] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場であることを特徴としている。
- [0017] 上記実施例によれば、発生する残留磁場のうち主な成分を補正することができる。
- [0018] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場以外の成分も含むことを特徴としている。
- [0019] 上記実施例によれば、発生する残留磁場のうち微細な成分まで補正することができる。
- [0020] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記工程(3)による残留磁場の補正は、前記強度を計算した残留磁場が補正されるように印加する傾斜磁場の強度を変更することによって行うことを特徴としている。
- [0021] 上記実施例によれば、残留磁場の補正を、既存の傾斜磁場コイルを用いたより簡易な装置で行うことができる。
- [0022] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記残留磁場応答関数は、X軸を印加する傾斜磁場、Y軸を前記印加する傾斜磁場によって発生する残留磁場とする2次元のグラフ上に残留磁場応答曲線を描くことによって表されることを特徴としている。
- [0023] 上記実施例によれば、工程(2)で残留磁場の計算のために用いる残留磁場応答関数の全体の把握が、操作者にとって容易になる。
- [0024] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記工程(4)による残留磁場応答関数の更新は、(8)前記グラフ上に示した残留磁場応答曲線において、Xの値がゼロから印加する傾斜磁場パルスの強度までの範囲では、Yの値が前記工程(2)において計算した値となるよう変更する工程と、(9)前記グラフ上に示した残留磁場応答曲線において、Xの値がゼロから印加する傾斜磁場パルスと反対

方向においては、Yの値が前記工程(2)において計算した値から所定の傾きで変化するように残留磁場応答曲線を描く工程とを含むことを特徴としている。

- [0025] 上記実施例によれば、工程(4)による残留磁場応答曲線の更新を、実験データに即した形で行うことができる。
- [0026] また、本発明の磁気共鳴イメージング方法の望ましい実施例によれば、前記所定の傾きは、前記工程(6)において記憶したキャリブレーションデータを基に求められることを特徴としている。
- [0027] 上記実施例によれば、工程(4)による残留磁場応答曲線の更新を、更に実験データに即した形で行うことができる。
- [0028] 上記目的は磁気共鳴イメージング装置によっても解決することが可能であり、本発明の磁気共鳴イメージング装置は、被検体が配置される撮影空間に静磁場を発生する静磁場発生手段と、前記撮影空間に傾斜磁場を印加する傾斜磁場発生手段と、前記傾斜磁場発生手段による傾斜磁場の印加を制御する制御手段を備えた磁気共鳴イメージング装置において、前記制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加によって発生する残留磁場を前記傾斜磁場の印加履歴を考慮に入れて補正する残留磁場補正手段を備えたことを特徴としている。
- [0029] 上記本発明によれば、傾斜磁場の印加に起因して発生する残留磁場を、傾斜磁場の印加履歴を考慮に入れてリアルタイムに補正することができる。
- [0030] また、本発明の望ましい磁気共鳴イメージング装置の実施例によれば、前記残留磁場補正手段は、前記制御手段に接続され、前記残留磁場の補正の制御を行う残留磁場補正制御手段と、前記残留磁場補正制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加履歴に依存する残留磁場応答関数を記憶する記憶手段と、前記残留磁場補正制御手段に接続され、前記残留磁場補正制御手段により入力される残留磁場補正制御信号に基づいて残留磁場の補正のための補正磁場を印加する補正磁場発生手段とから構成されることを特徴としている。
- [0031] 上記実施例によれば、残留磁場を補正するための機能を各手段で分担することができる。
- [0032] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記残留

磁場補正制御手段は、(10)前記制御手段から次に印加される傾斜磁場の強度に関する情報が送られると、前記記憶手段に記憶されている残留磁場応答関数を基に、前記傾斜磁場を印加する際発生する残留磁場の強度を計算する工程と、(11)前記計算した強度の残留磁場を補正するための補正磁場の強度を計算する工程と、(12)前記計算した強度の補正磁場を印加するための残留磁場補正制御信号を前記補正磁場発生手段に送信する工程と、(13)前記傾斜磁場の印加による前記残留磁場応答関数の変化を計算して更新し、該更新された残留磁場応答関数を前記記憶手段に記憶する工程により、前記残留磁場の補正の制御を行うことを特徴としている。

[0033] 上記実施例によれば、残留磁場補正制御手段がどのようにして残留磁場の補正の制御を行うかが明確になる。

[0034] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場であることを特徴としている。

[0035] 上記実施例によれば、発生する残留磁場のうち主な成分を補正することができる。

[0036] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場以外の成分も含むことを特徴としている。

[0037] 上記実施例によれば、発生する残留磁場のうち微細な成分までを補正することができる。

[0038] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記補正磁場発生手段は、補正用コイルであることを特徴としている。

[0039] 上記実施例によれば、補正磁場の印加を正確に行うことができる。

[0040] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記残留磁場補正手段は、前記制御手段に接続され、前記残留磁場の影響を補正して傾斜磁場を印加する制御を行う傾斜磁場補正制御手段と、前記傾斜磁場補正制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加履歴に依存する残留磁場応答関数を記憶する記憶手段とから構成され、前記傾斜磁場補正制御手段には前記傾斜磁場発生手段が接続されることを特徴としている。

[0041] 上記実施例によれば、残留磁場の補正を、既存の傾斜磁場コイルを用いたより簡

易な装置で行うことができる。

- [0042] また、本発明の磁気共鳴イメージング装置の望ましい実施例によれば、前記傾斜磁場補正制御手段は、(14)前記制御手段から次に印加される傾斜磁場の強度に関する情報が送られると、前記記憶手段に記憶されている残留磁場応答関数を基に、前記傾斜磁場を印加する際発生する残留磁場の強度を計算する工程と、(15)前記計算した強度の残留磁場を補正するために印加する傾斜磁場の強度をどの程度の強度に変更したら良いかを計算する工程と、(16)前記変更した強度の傾斜磁場を印加するための傾斜磁場補正制御信号を前記傾斜磁場発生手段に送信する工程と、(17)前記傾斜磁場の印加による前記残留磁場応答関数の変化を計算して更新し、該更新された残留磁場応答関数を前記記憶手段に記憶する工程により、前記傾斜磁場の補正の制御を行うことを特徴としている。
- [0043] 上記実施例によれば、傾斜磁場補正制御手段がどのようにして残留磁場の補正の制御を行うかが明確になる。

図面の簡単な説明

- [0044] [図1]本発明の実施例に係るMRI装置の全体構成を示すブロック図。
[図2]傾斜磁場補正手段の一例を示す図。
[図3]消磁後(印加履歴が全くない状態)の基本RM曲線を示す図。
[図4]正側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線を示す図。
[図5]負側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線を示す図。
[図6a]消磁後の基本RM曲線R1を測定する手順のフローチャートを示す図。
[図6b]正側あるいは負側に最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2+、R2-を測定する手順のフローチャートを示す図。
[図7]消磁パルス((a))、テスト傾斜磁場パルス((b)ー(d))を印加している様子を示す図。
[図8]消磁後に正側に最大傾斜磁場の1/2の強度の傾斜磁場パルスを印加した後のRM曲線を示す図。
[図9]消磁後に極性が反対の2発の傾斜磁場パルスを印加した場合にRM曲線をどの

ように変更するかを第1の傾斜磁場パルスの絶対値に対して第2の傾斜磁場パルスの絶対値が小さい場合で示す図。

[図10]消磁後に極性が反対の2発の傾斜磁場パルスを印加した場合にRM曲線をどのように変更するかを第1の傾斜磁場パルスの絶対値に対して第2の傾斜磁場パルスの絶対値が大きい場合で示す図。

[図11]消磁後に3発の傾斜磁場パルスを印加した場合にRM曲線をどのように変更するかを示す図。

[図12]RM曲線の更新アルゴリズムを一般化したものをフローチャートとして示す図。

[図13] $P(n)$ が $RMC(n-1)$ のプラトー外にある場合の処理Bを示す図。

[図14] $P(n)$ が $CDML(n-1)$ 内にない場合の処理Cを示す図。

[図15] $P(n)$ が $CDML(n-1)$ のプラトーと同極性の場合の処理Dを示す図。

[図16] $P(n)$ が $CDML(n-1)$ のプラトーと逆極性の場合の処理Eを示す図。

[図17]記憶部に格納されている磁石装置の基本RM曲線の一例を示す図。

[図18]準備パルスの例を示す図。

[図19]一連の傾斜磁場パルス(ここでは4つ)の印加を含むシーケンスを実行した場合における残留磁場の補正の様子を示した図。

[図20]傾斜磁場パルスの強度を異ならせて残留磁場を補正する場合の残留磁場補正手段の構成。

発明を実施するための最良の形態

[0045] 以下、添付図面を用いて、本発明の実施例について説明する。

図1は、本発明の実施例に係るMRI装置の全体構成を示すブロック図である。図1に示すように、このMRI装置は、主として、静磁場発生系1と、傾斜磁場発生系2と、送信系3と、受信系4と、信号処理系5と、制御系(シーケンサ6とCPU7)とを備えている。

[0046] 静磁場発生系1は、被検体9の周りの空間(撮影空間)に均一な静磁場を発生させるもので、永久磁石方式、常電導方式或いは超電導方式等の磁石装置からなる。本実施例における磁石装置は、残留磁場を生じる強磁性体材料を含んでいる。具体的に本実施例の磁石装置は、強磁性体を用いた永久磁石方式の磁石装置、あるいは強磁性体の鉄芯や磁気回路を用いた常電導方式あるいは超電導方式の磁石装置

等である。このため、上述したように傾斜磁場パルスの印加によりヒステリシス現象を伴う残留磁場が発生する問題がある。また、静磁場の方向は通常、被検体の体軸方向か、あるいはそれと直交する方向である。

[0047] 傾斜磁場発生系2は、例えば静磁場の方向をZ方向とし、それと直交する2方向をX, Yとすると、これら3軸方向に傾斜磁場パルスを発生する3つの傾斜磁場コイル10と、それらをそれぞれ駆動する傾斜磁場電源11とからなる。傾斜磁場電源11を駆動することにより、X、Y、Zの3軸あるいはこれらを合成した方向に傾斜磁場パルスを発生することができる。傾斜磁場パルスは、被検体9から発生するNMR信号に位置情報を付与するために印加される。また図1には示していないが、磁石装置が発生する静磁場の均一性を上げるためにシミング手段が備えられている。シミング手段は、複数のシムコイルとシム電源とからなり、シム電源を駆動し、シムコイルに電流を流すことにより、装置に固有の磁場不均一や外的要因によって生じる磁場不均一を取り除くことができる。

[0048] 送信系3は、高周波発振器12と、変調器13と、高周波増幅器14と、送信用の高周波照射コイル15とから成る。高周波発振器12が発生した高周波パルスを変調器13で所定のエンベロープの信号に変調した後、高周波増幅器14で増幅し、高周波照射コイル15に印加することにより、被検体を構成する原子の原子核に核磁気共鳴を起こさせる電磁波(高周波信号)が被検体に照射される。高周波照射コイル15は、通常、被検体に近接して配置されている。

[0049] 受信系4は、受信用の高周波受信コイル16と、増幅器17と、直交位相検波器18と、A/D変換器19とから成る。送信用の高周波照射コイル15から照射された電磁波の応答として被検体が発生したNMR信号は、受信用の高周波受信コイル16により検出され、増幅器17で増幅された後、直交位相検波器を18介してA/D変換器19によりデジタル量に変換され、二系列の収集データとして信号処理系5に送られる。

[0050] 信号処理系5は、CPU7と、記憶装置20と、操作部30とから成り、CPU7において受信系4が受信したデジタル信号にフーリエ変換、補正係数計算、画像再構成等の種々の信号処理を行う。記憶装置20は、ROM21、RAM22、光磁気ディスク23、磁気ディスク24等を備え、例えば、経時的な画像解析処理および計測を行うプログラムやその

実行において用いる不変のパラメータなどをROM21に、全計測で得た計測パラメータや受信系で検出したエコー信号などをRAM22に、再構成された画像データを光磁気ディスク23や磁気ディスク24にそれぞれ格納する。操作部30は、トラックボール又はマウス31、キーボード32などの入力手段と、入力に必要なGUIを表示するとともに信号処理系5における処理結果などを表示するディスプレイ33とを備えている。CPU7が行う各種処理や制御に必要な情報は、操作部30を介して入力される。また撮影により得られた画像はディスプレイ33に表示される。

[0051] 制御系は、CPU7とシーケンサ6とから成り、上述した傾斜磁場発生系2、送信系3、受信系4および信号処理系5の動作を制御する。特に傾斜磁場発生系2および送信系3が発生する傾斜磁場パルスおよび高周波パルスの印加タイミングならびに受信系4によるエコー信号の取得タイミングは、シーケンサ6を介して撮影方法によって決まる所定のパルスシーケンスにより制御される。

[0052] 本実施例のMRI装置では、図1では図示しないが、傾斜磁場パルスの印加によって磁石装置に発生する残留磁場を補正する残留磁場補正手段を備えている。この残留磁場補正手段は、制御系の一部として備えて、例えば既存の傾斜磁場コイルの印加電流を変更することによって補正をしてもよいし、傾斜磁場系に付随するものとして新たな補正用コイルを用意して、新たな補正用コイルに電流を印加するように制御することによって補正をしてもよい。既存の傾斜磁場コイルの印加電流を変更することによって補正をする場合は、補正用コイルを用いないので装置が複雑化しないという利点があり、新たな補正用コイルを用いる場合は、発生する残留磁場に対応させたより正確な補正磁場が印加可能な補正用コイルを設計できるという利点がある。

[0053] 以下、新たな補正用コイルを用意する場合を例にとって説明する。

図2に、残留磁場補正手段の一例を示す。図2によれば、残留磁場補正手段は、残留磁場補正制御装置25と残留磁場応答関数を記憶する記憶部26と補正用コイル27a及び27bとから成り、残留磁場補正制御装置25はシーケンサ6と接続され、記憶部26は残留磁場補正制御装置25と接続され、補正用コイル27a及び27bはそれぞれ残留磁場補正制御装置25と接続されている。このような構成とすることにより、残留磁場を補正するための機能を各要素で分担することが可能となる。ただし、補正用コイル

27aは傾斜磁場の3軸と軸を同じに持つ補正磁場を発生するためのもの、補正用コイル27bは傾斜磁場の3軸と軸を同じに成分以外の補正磁場を発生するためのものである。

[0054] ここで、残留磁場応答関数とは、それまでに印加された傾斜磁場パルスの印加履歴を考慮に入れて、次に印加する傾斜磁場パルスの強度(絶対値及び極性を含む。)と、該傾斜磁場パルスの印加によって発生する残留磁場の強度(絶対値及び極性を含む。)との関係を表した関数である。この関数は、横軸(X軸)を次に印加する傾斜磁場パルスの強度、縦軸(Y軸)に、その印加する傾斜磁場パルスによって発生する残留磁場の強度として、2次元グラフ上に曲線(以下残留磁場応答曲線、あるいはRM曲線という。)を描くことによって表すことができ、このように表すことによって、残留磁場応答関数の全体の把握が操作者にとって容易となる。

[0055] 残留磁場補正制御装置25は、シーケンサ6から次に印加する傾斜磁場パルスの強度に関する情報が送られると、それまでの傾斜磁場パルスの印加履歴が考慮されたRM曲線を含む残留磁場応答関数を用いて、該傾斜磁場パルスを印加した際どのような強度の残留磁場が発生するかを計算し、更に該残留磁場をキャンセルするための補正磁場の強度(絶対値及び極性を含む。)を計算する。そして、計算した強度を持つ補正磁場を印加するための制御信号を補正用コイルを駆動する電源(図示せず。)に送り、該傾斜磁場パルスの印加とともに補正磁場を印加する。同時に該傾斜磁場パルスの印加によって傾斜磁場パルスの印加履歴も更新されるので、該印加履歴の更新に依存させてRM曲線を含む残留磁場応答関数も、所定の規則に基づいて更新する。以下連続して傾斜磁場パルスを印加する場合には、同様の手順をその度に行う。このような手順により残留磁場補正制御装置25による残留磁場の補正の制御を明確に行うことができる。

[0056] 次に本実施例における残留磁場応答曲線を用いた補正磁場の強度の計算、および傾斜磁場パルスの印加履歴が考慮された残留磁場応答曲線の更新のアルゴリズムを説明する。

[0057] 先ず、残留磁場を補正する補正磁場の強度の計算のアルゴリズムは、印加履歴が考慮された最新の残留磁場応答関数上のRM曲線を用い、与えられる傾斜磁場パル

スの強度をXの値とした時のRM曲線上でのYの値を求めることにより、発生する残留磁場を求め、それに応じた反対の方向の磁場を補正磁場として計算するというものである。

[0058] 次に、上記補正磁場の計算のために用いるRM曲線の更新アルゴリズムについて説明する。

[0059] 本実施例におけるRM曲線の更新アルゴリズムは、消磁後、あるいは消磁後に（正極あるいは負極のどちらかの方向に）1発の最大傾斜磁場パルスを印加した後のRM曲線を基本のRM曲線として予め測定し、これをキャリブレーションデータとして記憶部26に保持し、このキャリブレーションデータをもとに任意の傾斜磁場パルスを印加した後のRM曲線を下記に説明する所定の規則に基づいて計算して求めて記憶部26に更新して記憶するというものである。このように、RM曲線の内基本的なものを予め求めて、それをキャリブレーションデータとして用いるので、任意の印加履歴に依存させた残留磁場応答曲線の更新を行うことができる。以下詳細に説明する。

[0060] 先ず、キャリブレーションデータとして保持する基本のRM曲線について説明する。先ず基本のRM曲線の1つとして、図3に示す消磁後（印加履歴が全くない状態）のRM曲線があり、これを消磁後の基本RM曲線R1とする。ただし、図3において横軸は次に印加する傾斜磁場パルスの強度、縦軸はその印加する傾斜磁場パルスによって発生する残留磁場の強度を表し、黒丸は測定結果である。また、右下のグラフは、印加履歴が全くない状態において、傾斜磁場パルス501をいろいろな強度で印加して残留磁場を測定することを示したものである。

[0061] この消磁後の基本RM曲線R1は、印加する傾斜磁場パルスの強度にほぼ比例するようになっていて、印加する傾斜磁場パルスの強度が正極で大きくなるとともに残留磁場が正の方向に大きくなり、印加する傾斜磁場パルスの強度が負極で絶対値が大きくなるとともに残留磁場が負の方向に絶対値が大きくなっている。ただし、原点の近傍で小さな強度の傾斜磁場パルスを加えても残留磁場が発生しない範囲（範囲A）が存在し、その部分だけX軸上にR1が載っている。

[0062] 消磁後の基本RM曲線R1は、装置に固有の曲線であり、本実施例では図6aのフローチャートに示す手順によって予め計測する。次に図6aの計測の各手順を説明する

。

[0063] (ステップ301)

磁石装置が保持する残留磁場を消磁する。残留磁場の消磁の方法としては公知の手法を採用することができ、例えば、消磁パルスを印加する方法が考えられる。この消磁パルスは、図7(a)に示すように、装置が印加可能な最大強度の傾斜磁場パルスを印加した後に、極性が交互に反転させながら順次振幅を減衰させて傾斜磁場パルスを印加していく一連のパルス列からなる。このような消磁パルスを3方向のすべてについて印加することにより、装置の強磁性体(例えば永久磁石)が保持する残留磁場を消去することができる。なお、図7(a)では一例として8個のパルスからなる消磁パルス列を示しているが、必要に応じて消磁パルスの個数および印加時間を変更しても良い。

[0064] (ステップ302)

次に、任意の波形を有するテスト傾斜磁場パルスを印加して、発生した残留磁場を測定する。ただし、ここで印加するテスト傾斜磁場パルスは、図7(b)、(c)に示すような単一のパルスでも良いし、図7(d)に示すような複数のパルスの組み合わせであっても良い。また、テスト傾斜磁場パルスの測定によって発生した残留磁場の測定方法としては、例えば、テスラメータを用いて測定する方法でも良いし、MRIファントムにRF励起して、残留磁場に変化を与えないような弱い強度の傾斜磁場を用いて画像化する方法でも良い。MRIファントムを用いた場合には、画像の位相マップがそのまま残留磁場を反映したものとなるので、位相の変化から残留磁場を算出することができる。

。

[0065] (ステップ303)

このようなテスト傾斜磁場パルスの強度を、装置が印加できる正の最大傾斜磁場強度(+Gmax)から負の最大傾斜磁場強度(-Gmax)まで変化させて、それぞれにおいて残留磁場を測定する。すべての傾斜磁場強度について測定し終わったら(ステップ304)へ、まだ測定し終わっていない傾斜磁場強度があれば(ステップ301)へ進む。

。

[0066] (ステップ304)

印加するテスト傾斜磁場パルスの強度と、それによって発生する残留磁場の強度との関係をX軸とY軸から成る関数上に曲線として描き、これを消磁後の基本RM曲線R1とする。求めた消磁後の基本RM曲線R1は残留磁場補正手段の記憶部26に格納される。

[0067] 次に、基本のRM曲線のもう一つとして、図4及び図5に示す消磁後に1発の最大傾斜磁場を印加した後のRM曲線があり、これらを正側及び負側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2+及びR2-とする。ただし、図4は正側に最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2+を示す図であり、図5は負側に最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2-を示す図である。

[0068] これらによれば、図4のR2+は、X軸方向正側には最大強度の傾斜磁場パルス(+Gmax)を印加した後の残留磁場値を一定値に持つX軸に平行な直線となっていて(以下、X軸に平行な直線のことをプラトーとも呼ぶ。)、該X軸に平行な直線(プラトー)はY軸と交わると、X軸方向負側に絶対値が大きくなるに従って傾き α に従って小さくなり、あるところ(点B)で上記消磁後の基本RM曲線R1と交わりそれ以降R1に従って減少する。また、図5のR2-は、R2+を原点を中心に180度回転させた形となっている。

[0069] これらR2+及びR2-、特に上述したプラトーに対してY軸と反対方向で変化する際の傾き α は、装置に固有の曲線であり、本発明では図6bのフローチャートに示す手順によって予め計測する。次に図6bの各手順を説明する。

[0070] (ステップ311)

まず上記(ステップ301)と同様の手順により残留磁場を消磁する。

(ステップ312)

次に図4の右下の601に示すように最大強度(+Gmax)の傾斜磁場パルスを印加する。

(ステップ313)

次に傾斜磁場パルス602を印加した場合に生じる残留磁場を計測する。

[0071] (ステップ314)

ここでも、2発目の傾斜磁場パルス602の強度を、装置が印加できる正の最大強度(

+Gmax)から負の最大強度(-Gmax)まで変化させて、それぞれにおいて残留磁場を測定する。すべての傾斜磁場強度について測定し終わったら(ステップ315)へ、まだ測定し終わっていない傾斜磁場強度があれば(ステップ311)へ進む。

(ステップ315)

2発目の傾斜磁場パルス602の強度と、それによって発生する残留磁場の強度との関係を表す曲線を描き、R2+とする。更にR2+上において上述のように定義した傾き α も求める。求めたR2+及び傾き α は残留磁場補正手段の記憶部26に格納される。

[0072] 以上の手順により、正側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2+を図4のように求めるが、負側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2-は、図4を原点を中心に180度回転させることによって図5のように求めても良いし、傾斜磁場パルス601を、図5の右下の図のように逆極性の701とすることによって、図6bと同等の手順で求めても良い。そして得られたR2-は同様に残留磁場補正手段の記憶部26に格納される。

[0073] 以上R1およびR2+、R2-、傾き α は実際の撮影シーケンスを行う前に予め測定して求めておくが、実際の撮影シーケンスでは様々な波形、強度の傾斜磁場パルスを印加する。本実施例では実際のシーケンスにおいて用いる様々な波形、強度の傾斜磁場パルス印加によるRM曲線の変化には、ある規則性があると考えて、予め求めたRM曲線R1およびR2+、R2-より下記に説明する規則に基づいて下記のように更新する。ただし、以下に説明する規則性は本発明者が実験して得られたデータより考察して提案するものである。

[0074] まず、消磁した後の1発目の傾斜磁場パルスの強度が正側に最大傾斜磁場強度の1/2である場合(+1/2Gmax)には、RM曲線は、R1を図8のように変更する。ただし、図8において右下のグラフは+1/2Gmaxの強度を持つ傾斜磁場パルス801を印加した後の傾斜磁場パルス802の強度をいろいろ変えて、その場合に発生する残留磁場をRM曲線として表すことを示している。

[0075] 図8によれば、印加する傾斜磁場強度が+1/2 Gmaxより大きい場合にはRM曲線はR1上に載っていて、0以上+1/2 Gmax以下の場合には+1/2 Gmaxを印加した時の残留磁場の強度(点MLPAで示された値)を一定値に持つプラトーであり、プラトーがY

軸と交わるところで、X軸方向負側は傾き α に従って減少させ、点MLNAにおいてR1に一致させ、以降はR1に従って減少させるようにしている。

[0076] 以下、本実施例では傾斜磁場パルスを印加することによりRM曲線が消磁後の基本RM曲線R1より逸脱する範囲を、CDMLと定義する。また、CDMLのX軸方向に最大の点をMLPA、X軸方向に最小の点をMLNAとする。

[0077] 一方、消磁した後の1発目の傾斜磁場パルスの強度が負側に最大傾斜磁場強度の1/2である場合には、RM曲線が図8のRM曲線を原点に対して180度回転させた曲線となるように変更する。消磁した後の1発目の傾斜磁場強度が最大傾斜磁場強度の正確に1/2でない場合には、その値に応じて印加した傾斜磁場強度におけるR1上の位置を求め(図8では点MLPAに相当)、その点よりY軸方向へX軸に平行にプラトーを描き、プラトーがY軸と交わった時点で反対方向は α の傾きで減少させるような直線を描き、その直線がR1に再び交わった時点(MLNA)でR1に従って減少されるようにして、図8に準じたRM曲線を描く。ただし、1発目の傾斜磁場パルスの強度が図3の領域Aに相当するような小さな値である場合には、RM曲線はR1に対して変更はされない。

[0078] 次に、消磁後に2発の傾斜磁場パルスを印加した場合にRM曲線をどのように変更するかを、図9および図10を用い説明する。ただし図9と10ともに第1の傾斜磁場パルスと第2の傾斜磁場パルスの極性が反対の場合であるが、図9は第1の傾斜磁場パルスの絶対値に対して第2の傾斜磁場パルスの絶対値が小さい場合、図10は第1の傾斜磁場パルスの絶対値に対して第2の傾斜磁場パルスの絶対値が大きい場合である。以下、図9と図10を順に説明する。

[0079] 図9の右下の図に示されたように、傾斜磁場パルス901と902の極性が反対で、902の絶対値の方が901の絶対値より小さくなるように印加した場合(901の傾斜磁場パルス強度を $+G1$ 、902の傾斜磁場パルス強度を $-G2$ とする。)には、傾斜磁場パルス901の印加後RM曲線は図8のようになっている(この時のMLPA及びMLNAをMLPA($+G1$)、MLNA($+G1$)とする。)が、更に傾斜磁場パルス902の印加によって図8のRM曲線上のCDML内が変更される。具体的には図8のような状態のRM曲線上で、X軸方向に負方向($-G2$)に位置する点をPOSW($-G2$)とすると、その点からプラトーをY

軸の方向へX軸に平行に描く。そしてプラトーがY軸と交わった点から、上記 α の傾きで増加しはじめ、その増加直線が上記POSW($-G2$)とMLPA($+G1$)を結ぶ直線上に載った時点で、POSW($-G2$)とMLPA($+G1$)を結ぶ直線に沿ってMLPA($+G1$)まで増加する。そしてMLPA($+G1$)に到達した以降はR1に従って増加するようにする。

[0080] 一方、図10の右下の図で示されたように、傾斜磁場パルス901と902を極性が反対で、902の絶対値の方が901の絶対値より大きくなるように印加した場合(図9と同様に901の傾斜磁場パルス強度を $+G1$ 、902の傾斜磁場パルス強度を $-G2$ とする。)には、傾斜磁場パルス901の印加後RM曲線は図8のようになっている(この時のMLPA及びMLNAをMLPA($+G1$)、MLNA($+G1$)とする。)が、更に傾斜磁場パルス902の印加によって図8のRM曲線上のCDML外部も変更される。この場合には、図8のような状態のRM曲線上で、X軸方向に負方向 $-G2$ に位置する点をMLNA($-G2$)とすると、その点からY軸の方向へX軸に平行にプラトーを描く。そしてプラトーがY軸と交わった点から、Y軸の反対方向に上記傾き α で増加しはじめ、その増加直線がR1に交わった時点でR1に沿って増加するようにする。

[0081] 以上が消磁後に2つの傾斜磁場パルスを印加した場合のRM曲線の変更例であるが、次に消磁後に3つの傾斜磁場パルスを印加した場合について図11を用い例を示す。ただし、図11では傾斜磁場パルスの極性が1発目(911)と3発目(913)が正極、2発目(912)が負極の場合(911の傾斜磁場パルス強度を $+G1$ 、912の傾斜磁場パルス強度を $-G2$ 、913の傾斜磁場パルス強度を $+G3$ とする。)の例であり、またそれぞれの絶対値は、911の絶対値は図9の場合と同様に912の絶対値より大きく、913の絶対値は911の絶対値より小さく912の絶対値より大きい場合に例をとって説明する。この場合には911と912を印加した後のRM曲線は図9で示されたようになっているが、913を印加することによってRM曲線は次のように変更される。すなわち、図9のRM曲線においてX軸方向に $+G3$ に位置する点をPOSW($+G3$)として、その点からY軸方向にX軸に平行にプラトーを描く。そしてプラトーがY軸と交わった点から、POSW($-G2$)に向かって直線を引き、POSW($-G2$)からMLNA($+G1$)に向かって減少するようにする。更にMLNA($+G1$)へ到達した後はR1に沿って減少するようにする。

[0082] 上記図8から図11において示したRM曲線の変更は、本発明者が実験して得られた

データより考察してモデル化したもののものより、いくつかのパターンについて例示したものであるが、その特徴を簡単にまとめると次のようである。

[0083] (1) 消磁後のRM曲線は、ほぼ印加する傾斜磁場強度と残留磁場の強度が比例する形となる図3のようになっていて、これを消磁後の基本RM曲線R1とする。

(2) 消磁後に1発の最大強度の傾斜磁場パルスを実加した後のRM曲線は、図4あるいは図5のようになっていて、主に1発の傾斜磁場パルスを印加した方向のプラトーと、その逆方向の傾き α の直線等からなっている。これを印加する傾斜磁場パルスの方向に応じて、正側及び負側最大傾斜磁場印加後の基本RM曲線R2+およびR2-とする。

(3) RM曲線R1、R2+、R2-及びR2+とR2-における傾き α は予め測定してキャリブレーションデータとして保持しておく。

(4) 消磁後に1発の傾斜磁場パルスを印加した後のRM曲線は、R1上にその傾斜磁場パルスの強度における点を求め、その点からY軸方向にX軸に平行にプラトーを描き、プラトーがY軸が交わるところから反対側は傾き α の直線を描くことによって更新することができる。

(5) RM曲線がR1から逸脱する範囲をCDMLと定義して、CDMLのX軸方向に最大の点をMLPA、CDMLのX軸方向に最小の点をMLNAとする。

(6) 消磁後に傾斜磁場パルスを2発以上印加した場合のRM曲線は、順次次に印加する傾斜磁場パルスの方向と強度に応じて、RM曲線を所定の規則で変更することによって、更新して求めることができる。ただし、印加する傾斜磁場パルスの強度がその時の最新のRM曲線のCDML内にあるかCDML外にあるかによって、微妙に更新の仕方を異ならせる。また、印加する傾斜磁場パルスの方向と強度が最新のCDML内のプラトー上である場合にはRM曲線は更新しない。

[0084] 以上のようなRM曲線更新の規則を更新アルゴリズムとして一般化したものを図12～図16のフローチャートに示す。以下、順に説明する。

[0085] 1. RM曲線更新処理

先ず、撮影を始める前のRM曲線の初期値は、例えば図3に示すような消磁後の基本RM曲線R1或いは図4および図5に示すような正側及び負側最大傾斜磁場印加後

の基本RM曲線($R2+$ 及び $R2-$)である。ただし、 $R1$ をRM曲線の初期値として用いる場合、傾斜磁場強度0前後の残留磁場が変化しない範囲(図3で領域A)の両端をMLNAおよびMLPAの初期値とする。

[0086] (ステップ1001)

図12において、 n 発目の傾斜磁場パルス印加の指令がシーケンサ6からあると、その傾斜磁場パルスの強度 $G(n)$ ($n=1,2,3\cdots$)が残留磁場補正装置25へ入力される。

(ステップ1002)

その時点で残留磁場補正装置25は記憶部26に記憶されている最新のRM曲線 $RMC(n-1)$ において、 X の値を $G(n)$ とした場合のRM曲線 $RMC(n-1)$ 上での Y の値 $P(n)$ を求める。

[0087] (ステップ1003)

ここでステップ1001で読み込まれた $G(n)$ が0の場合には、RM曲線 $RMC(n-1)$ を変更することなく、 $RMC(n)=RMC(n-1)$ とする。

(ステップ1004)

また $P(n)$ が $RMC(n-1)$ のプラトー上にある場合にもRM曲線 $RMC(n-1)$ を変更することなく、 $RMC(n)=RMC(n-1)$ とする。 $P(n)$ が $RMC(n-1)$ のプラトー外にある場合には、処理Bに従う。処理Bは次の図13に図示されている。

[0088] 2. 処理B

(ステップ1005)

処理Bでは、まず $P(n)$ が最新のRM曲線 $RMC(n-1)$ における $CDML(n-1)$ の範囲にあるか否かを判断する。すなわち $G(n)$ がMLNAより小さいあるいはMLPAより大きい場合には、 $P(n)$ は $CDML(n-1)$ の範囲にはないので、処理Cに進み、 $CDML$ を更新して新たな $RMC(n)$ を作成する。処理Cは図14に示されている。

(ステップ1006)

一方、ステップ1005において、 $P(n)$ が $CDML(n-1)$ の範囲にあると判断された場合には、さらに $G(n)$ の極性が $CDML(n-1)$ のプラトーの存在する極性と同じか否かを判断する。そして、同じか否かに応じて異なる処理(同じ場合はD、同じでない場合はE)を行う。処理Dは図15に、処理Eは図16に示されている。

[0089] 3. 処理C

(ステップ1007)

図14の処理Cは、新たなCDML(n)を作成する手順であり、P(n)と同極性側は、P(n)からY軸方向へX軸と平行にプラトーを描く。

(ステップ1008)

更にこのプラトーがY軸と交わる点からプラトーと反対側は、傾き α の直線をR1に到達するまで描き、(ステップ1007)で描いた直線と合わせて新しいCDML(n)とする。

[0090] (ステップ1009)

新しいCDML(n)とR1を組み合わせて新しいRMC(n)とする。

(ステップ1010)

CDMLが更新されたことにより、CDMLが更新される前の状態でPOSW(n-1)が定義されていれば、それをクリアする。

[0091] 図14の処理は、例えば、図3に示す消磁後の基本RM曲線から図8に示すようなRM曲線を作成する処理、あるいは図8に示すようなRM曲線から図10に示すようなRM曲線に更新する処理に当たる。

[0092] 4. 処理D

また、P(n)の極性がCDML(n-1)のプラトーと同極性の場合には、図15に示す処理Dに進む。

(ステップ1011)

先ず、P(n)と同極性側は、Y軸方向にX軸と平行にプラトーを描く。

(ステップ1012)

次にプラトーがY軸と交わる点とPOSW(n-1)を結び、これらを含めてRMC(n)とする。この処理は、例えば、図9に示す状態から、図11に示すようなRM曲線を作成する処理に当たる。

[0093] 5. 処理E

図13のステップ1006において、P(n)の極性がCDML(n-1)のプラトーと逆極性の場合には、図16に示す処理Eに進む。

(ステップ1013)

CDML(n-1)のプラトーのX軸方向絶対値の最も大きい点とP(n)とを結んだ直線をLとする。

[0094] (ステップ1014)

更に、P(n)と同極性側は、Y軸方向へX軸と平行にプラトーを描く。

(ステップ1015)

プラトーがY軸と交わる点からプラトーとY軸を挟んで反対側は、傾き α で直線Lに交差するまでRM曲線を描き、直線Lに交差すると直線Lに沿ってR1に交わるまでRM曲線を描き、これをRMC(n)とする。

[0095] (ステップ1016)

そして、P(n)を新たなPOSW(n)として、POSWを更新する。この処理は、例えば、図8に示すCDML内を更新し、図9に示すような状態にする処理に当たる。

以上、説明した一連のステップを行うことにより、傾斜磁場履歴に応じたRM曲線が作成され、更新される。こうして作成されたRM曲線RMC(n)は、n番目の傾斜磁場パルスが印加された後に印加される(n+1)番目の傾斜磁場パルス印加の際に適用され、この(n+1)番目の傾斜磁場パルスの印加の際に発生する残留磁場をキャンセルするための補正磁場の算出に用いられる。例えば、図11に示すRMCを例にすると、傾斜磁場パルス914によって発生する残留磁場は、それ以前の傾斜磁場履歴(例えば、傾斜磁場パルス911、912、913)によって算出されたRM曲線915を用いて一義的に決定することができ、この残留磁場を補正する補正磁場を傾斜磁場パルス914に重畳して印加することにより残留磁場の影響を排除することができる。

[0096] 次に、本実施例のMRI装置において、上述した残留磁場応答モデルの更新アルゴリズムを用いた傾斜磁場の残留磁場補正をより具体的に説明する。

先ず図17は、残留磁場補正装置25の記憶部26に格納されている磁石装置の基本RM曲線(R1、R2+、R2-)の一例であり、例えば予めこれを測定する際には、図中の黒丸で示す数点のみを計測しておけばよい。

[0097] 撮影に際しては、全ての撮影シーケンスを開始する前に、図7(a)に示すように消磁パルスを印加して磁石装置を消磁した後、RM曲線が図3になるように初期化するか、あるいは、図18(a)～(f)に示すような複数のパルス列からなる準備パルスを印加して

、これら準備パルスの最後のパルスが、装置が印加できる最大の傾斜磁場強度を有するようにした後、RM曲線が、図4に示す603か或いは図5に示す703になるように初期化する。このようにすることによって、残留磁場の計算のために用いる残留磁場応答曲線の更新に誤差が含まれる場合には、その誤差を最小限とすることができる。

[0098] 装置の残留磁場の状態を初期化した後、撮影シーケンスを開始する。撮影シーケンスを実行する過程で、傾斜磁場パルスの印加毎に、直前までの傾斜磁場履歴に依存する最新のRM曲線を適用して発生する残留磁場を補正する補正磁場の強度を計算するとともに、上述したRM曲線更新アルゴリズムに従いリアルタイムでRM曲線を更新して、その次の傾斜磁場パルスの印加に対応する。

図19は、一連の傾斜磁場パルス(ここでは4つ)の印加を含むシーケンスを実行した場合における残留磁場の補正の様子を示した図である。図中、(b)はシーケンサからの傾斜磁場パルス印加の命令を表し、 $n-n+3$ は異なる強度の傾斜磁場パルスを印加する4つの期間を表し、(a)は実際に印加される傾斜磁場パルスを表している。(a)が(b)の傾斜磁場パルスの印加命令に対して若干遅れているのは、傾斜磁場パルスの印加によって構造体に渦電流発生するからである。また(c)は補正磁場、(d)は補正磁場強度の計算のために参照するRM曲線の番号を示している。

[0099] まず期間 n の直前に n 番目の傾斜磁場パルス1801の印加の指令があると、それまでの履歴に応じて作成されている最新のRM曲線 $RMC(n-1)$ と n 番目の傾斜磁場パルスの強度 $G(n)$ から n 番目の傾斜磁場パルスを印加した時に発生する残留磁場の強度を求める。そしてこの残留磁場をキャンセルするための補正磁場の強度を計算し、傾斜磁場パルス1801の印加に重畳して補正磁場1802を印加する。これと並行して、傾斜磁場パルス1801が印加履歴の中に含まれるようにRM曲線を更新する。即ち、図12のステップ1001において n 番目の傾斜磁場パルスの強度 $G(n)$ を入力し、その $RMC(n-1)$ 上での点 P を求めこの Y 座標より残留磁場を求め、更に、RM曲線を更新する場合には、点 P の X 軸方向の位置に応じて、上記B-Eのいずれかの処理によりRM曲線を更新して $RMC(n)$ とする。

[0100] 次に期間 $n+1$ では、 $RMC(n)$ を用い、期間 $n+1$ において印加する傾斜磁場パルスの強度 $G(n+1)$ に対応して印加する補正磁場を計算するとともに、RM曲線 $RMC(n)$ も

更新する。図示する例では、期間 $n+1$ に印加される傾斜磁場パルスの強度 $G(n+1)$ はゼロであるので、期間 $n+1$ に印加される補正磁場は期間 n に印加されたものと同じであり、図12のステップ1003より、 $RMC(n)$ は更新されず($RMC(n+1)=RMC(n)$)となる。

[0101] 次に期間 $n+2$ における傾斜磁場パルス1803の印加の指令があると、この $RMC(n+1)$ と期間 $n+2$ における傾斜磁場パルス1803の強度 $G(n+2)$ から、傾斜磁場パルス1803の印加によって生じる残留磁場とそれにキャンセルするために印加する補正磁場を計算し、傾斜磁場パルス1803に重畳して印加する。以下、同様に、傾斜磁場パルスの印加の度に、最新のRM曲線を適用して補正磁場を印加するとともに、そのRM曲線を更新する。

[0102] 以上のように本実施例では、傾斜磁場パルスの印加の度に、その傾斜磁場パルスの印加直前までの傾斜磁場印加履歴を考慮したRM曲線を用いて補正磁場強度を求め補正磁場を印加するとともに、その傾斜磁場パルスの印加をも履歴の中に含めてRM曲線に更新していくので、リアルタイムで常にそれまでの傾斜磁場印加履歴を反映した残留磁場補正を行うことができ、複雑な印加履歴依存性を呈する傾斜磁場の残留磁場を常に正確に補正することができる。また、本実施例によれば、補正磁場を傾斜磁場パルスと別のタイミングで印加するのではなく、補正磁場を傾斜磁場パルスの印加に重畳して印加されるので、撮影シーケンスの延長や制限を招くことがない。さらに本実施例によれば、従来の永久磁石等の強磁性体を用いたMRI装置では残留磁場のために実行が困難であり、或いは特別の調整や補償が必要であった撮影シーケンスを、特別の調整や補償をせずに実行することができ、良好な結果を得ることができる。具体的には、CPMG系列を用いたファストスピンエコー(FSE)法において、残留磁場によるCPMG系列の乱れを防止できるので、FSE法に特化した調整や補正が必要ではなくなる。また非常に大きな傾斜磁場(MPG)を用いて水の拡散を検出する拡散強調シーケンスにおいては、画質劣化の主たる原因であるMPGの残留磁場をなくすことができ、画質の向上を図ることができる。さらに化学シフトを利用したRF脂肪抑制のように高い静磁場均一度が要求される撮影についても、残留磁場による静磁場均一度の劣化を抑制することができるので、永久磁石装置を備えたMRI装置においても良好な脂肪抑制画像を得ることができる。

[0103] 本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々に変形して実施できる。

例えば上記実施例では、傾斜磁場パルスの印加軸については触れていないが、RM曲線はX、Y、Zの3軸の傾斜磁場のそれぞれに対応して算出して、それぞれの軸について補正用コイル27aを用いて補正磁場を印加することが、発生する残留磁場のうち主な成分を補正するためには好ましい。さらにX、Y、Z軸以外に派生する成分(例えば、XY軸、 Z^2 軸など)についても、RM曲線を予め計測して、残留磁場補正装置25内に保持しておき、補正用コイル27bを利用して派生する成分に対応して補正磁場を印加することも可能である。このようにすることによって、発生する残留磁場のうち微細な成分まで補正することが可能となる。

[0104] また、傾斜磁場の印加時間や印加数によっても、残留磁場応答曲線は変化するので、これらの特性を予め測定して残留磁場補正装置25内に保持しておき、傾斜磁場の印加時間および印加数に応じて適当なスケールファクターを用いて微調整してもよい。

[0105] また、上記実施例では補正磁場の印加のために、傾斜磁場コイルとは異なる補正用コイルを用いる場合について主に説明したが、本発明はこれに限定されず、上記計算した補正磁場の強度を、印加した傾斜磁場パルスの強度に加味して微調整を行い、傾斜磁場パルスの強度を本来の値と異ならせて印加することによっても、残留磁場を傾斜磁場パルスで印加履歴の考慮に入れて補正する本発明の目的は達成できることは言うまでもない。その場合の残留磁場補正手段の構成は、例えば図20のようであり、傾斜磁場補正制御装置27と記憶部26とからなり、傾斜磁場補正制御装置27はシーケンサ6に接続され、記憶部26は傾斜磁場補正制御装置27に接続され、傾斜磁場補正制御装置27は傾斜磁場電源(図示せず。)を介して、傾斜磁場コイル10に接続される。傾斜磁場補正制御装置27はシーケンサ6から次に印加する傾斜磁場パルスの強度の情報が送られると、それまでの傾斜磁場パルスの印加履歴が考慮されたRM曲線を含む残留磁場応答関数を用いて、該傾斜磁場パルスを印加した際どのような強度の残留磁場が発生するかを計算し、更に該残留磁場をキャンセルするためにどのような強度の傾斜磁場パルスに変更して印加したら良いかを

計算する。そして、強度の変更を計算した傾斜磁場を印加するための制御信号を傾斜磁場コイルを駆動する電源(図示せず。)に送り、該傾斜磁場パルスを印加する。同時に該傾斜磁場パルスの印加によって傾斜磁場パルスの印加履歴も更新されるので、該印加履歴の更新に依存させてRM曲線を含む残留磁場応答関数も、所定の規則に基づいて更新する。以下連続して傾斜磁場パルスを印加する場合には、同様の手順をその度に行う。このような構成の場合、既存の傾斜磁場コイルを用いて残留磁場の補正が行えるので、装置が複雑化することを防ぐことができる。

請求の範囲

- [1] (1)少なくとも1パルス以上の傾斜磁場を連続して印加する工程と、
(2)前記傾斜磁場によって磁石装置に発生する残留磁場を、印加する傾斜磁場の強度とそれによって発生する残留磁場の強度との関係を表す残留磁場応答関数をもとに計算する工程と、
(3)前記計算した残留磁場を補正する工程とを有する磁気共鳴イメージング方法において、
(4)前記工程(2)において用いる残留磁場応答関数を、前記連続して印加する傾斜磁場の印加履歴に依存させて時間とともに更新する工程を有することを特徴とする磁気共鳴イメージング方法。
- [2] 前記工程(1)～(4)が実行される前に、
(5)前記磁石装置に発生する残留磁場を消磁するとともに、前記残留磁場応答関数を消磁後のものとなるよう初期化する工程が実行されることを特徴とする請求項1記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [3] 前記工程(1)～(5)が実行される前に、
(6)消磁後、あるいは、消磁後に少なくとも1パルス以上の傾斜磁場を印加した後における残留磁場応答関数を求めて、それをキャリブレーションデータとして記憶する工程が実行されることを特徴とする請求項1または2記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [4] 前記工程(3)による残留磁場の補正は、
補正磁場を前記傾斜磁場に重畳して印加することにより行うことを特徴とする請求項1～3記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [5] 前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場であることを特徴とする請求項4記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [6] 前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場以外の成分も含むことを特徴とする請求項5記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [7] 前記工程(3)による残留磁場の補正は、前記強度を計算した残留磁場が補正されるように印加する傾斜磁場の強度を変更することによって行うことを特徴とする請求項

1〜3記載の磁気共鳴イメージング方法。

- [8] 前記残留磁場応答関数は、X軸を印加する傾斜磁場、Y軸を前記印加する傾斜磁場によって発生する残留磁場とする2次元のグラフ上に残留磁場応答曲線を描くことによって表されることを特徴とする請求項1〜7のいずれか1つに記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [9] 前記工程(4)による残留磁場応答関数の更新は、
(8)前記グラフ上に示した残留磁場応答曲線において、Xの値がゼロから印加する傾斜磁場パルスの強度までの範囲では、Yの値が前記工程(2)において計算した値となるよう変更する工程と、
(9)前記グラフ上に示した残留磁場応答曲線において、Xの値がゼロから印加する傾斜磁場パルスと反対方向においては、Yの値が前記工程(2)において計算した値から所定の傾きで変化するように残留磁場応答曲線を描く工程とを含むことを特徴とする請求項1〜8のいずれか1つに記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [10] 前記所定の傾きは、前記工程(6)において記憶したキャリブレーションデータを基に求められることを特徴とする請求項9記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [11] 被検体が配置される撮影空間に静磁場を発生する静磁場発生手段と、前記撮影空間に傾斜磁場を印加する傾斜磁場発生手段と、前記傾斜磁場発生手段による傾斜磁場の印加を制御する制御手段を備えた磁気共鳴イメージング装置において、前記制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加によって発生する残留磁場を前記傾斜磁場の印加履歴を考慮に入れて補正する残留磁場補正手段を備えたことを特徴とする磁気共鳴イメージング装置。
- [12] 前記残留磁場補正手段は、前記制御手段に接続され、前記残留磁場の補正の制御を行う残留磁場補正制御手段と、前記残留磁場補正制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加履歴に依存する残留磁場応答関数を記憶する記憶手段と、前記残留磁場補正制御手段に接続され、前記残留磁場補正制御手段により入力される残留磁場補正制御信号に基づいて残留磁場の補正のための補正磁場を印加する補正磁場発生手段とから構成されることを特徴とする請求項11記載の磁気共鳴イメージング装置。

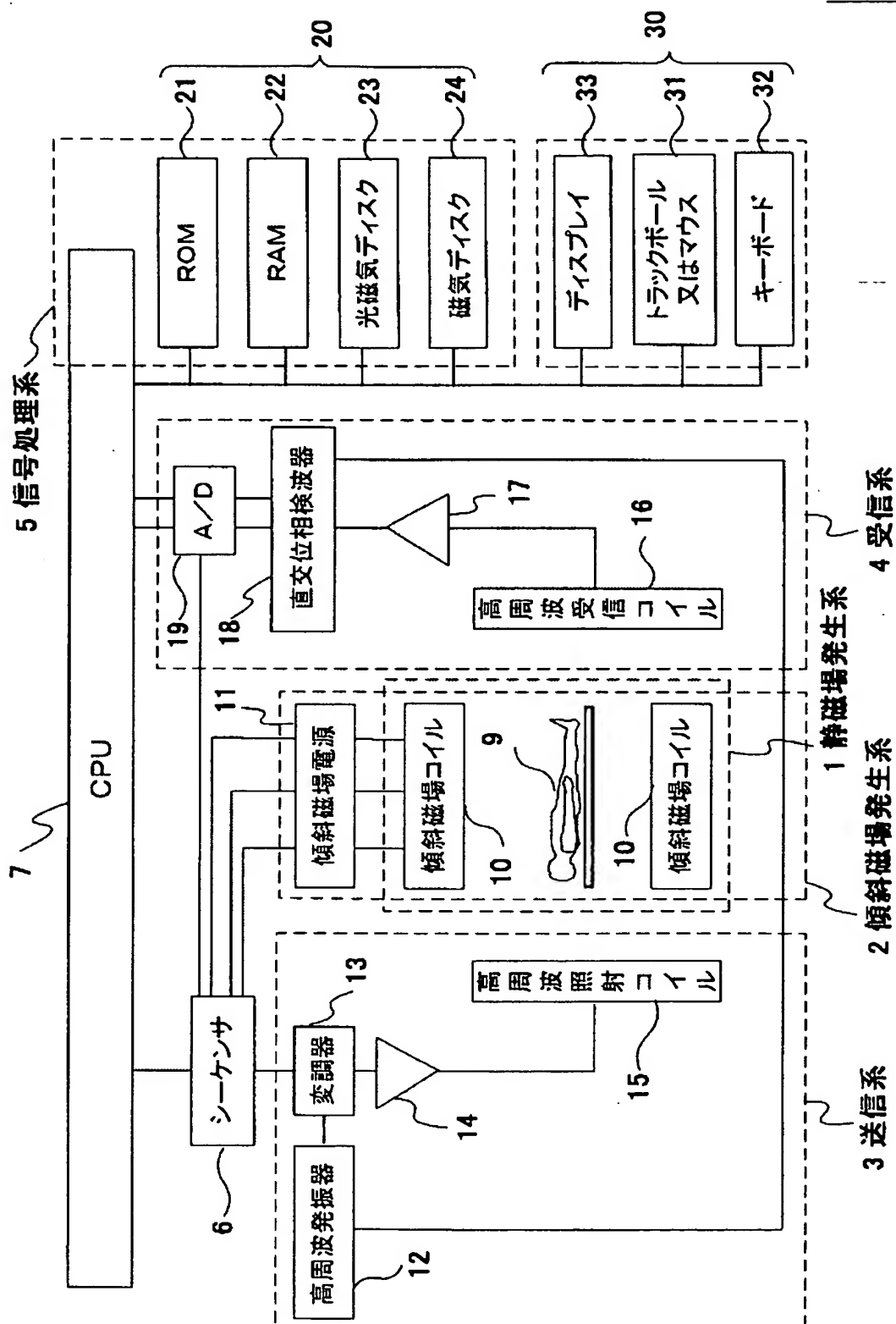
- [13] 前記残留磁場補正制御手段は、
- (10) 前記制御手段から次に印加される傾斜磁場の強度に関する情報が送られると、前記記憶手段に記憶されている残留磁場応答関数を基に、前記傾斜磁場を印加する際発生する残留磁場の強度を計算する工程と、
- (11) 前記計算した強度の残留磁場を補正するための補正磁場の強度を計算する工程と、
- (12) 前記計算した強度の補正磁場を印加するための残留磁場補正制御信号を前記補正磁場発生手段に送信する工程と、
- (13) 前記傾斜磁場の印加による前記残留磁場応答関数の変化を計算して更新し、該更新された残留磁場応答関数を前記記憶手段に記憶する工程により、前記残留磁場の補正の制御を行うことを特徴とする請求項12記載の磁気共鳴イメージング装置。
- [14] 前記補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場であることを特徴とする請求項12または13記載の磁気共鳴イメージング装置。
- [15] 前記重畳して印加する補正磁場は、前記傾斜磁場と軸を同じに持つ傾斜磁場以外の成分も含むことを特徴とする請求項14記載の磁気共鳴イメージング方法。
- [16] 前記補正磁場発生手段は、補正用コイルであることを特徴とする請求項12～15のいずれか1つに記載の磁気共鳴イメージング装置。
- [17] 前記残留磁場補正手段は、前記制御手段に接続され、前記残留磁場の影響を補正して傾斜磁場を印加する制御を行う傾斜磁場補正制御手段と、前記傾斜磁場補正制御手段に接続され、前記傾斜磁場の印加履歴に依存する残留磁場応答関数を記憶する記憶手段とから構成され、前記傾斜磁場補正制御手段には前記傾斜磁場発生手段が接続されることを特徴とする請求項11記載の磁気共鳴イメージング装置。
- [18] 前記傾斜磁場補正制御手段は、
- (14) 前記制御手段から次に印加される傾斜磁場の強度に関する情報が送られると、前記記憶手段に記憶されている残留磁場応答関数を基に、前記傾斜磁場を印加する際発生する残留磁場の強度を計算する工程と、

(15) 前記計算した強度の残留磁場を補正するために印加する傾斜磁場の強度をどの程度の強度に変更したら良いかを計算する工程と、

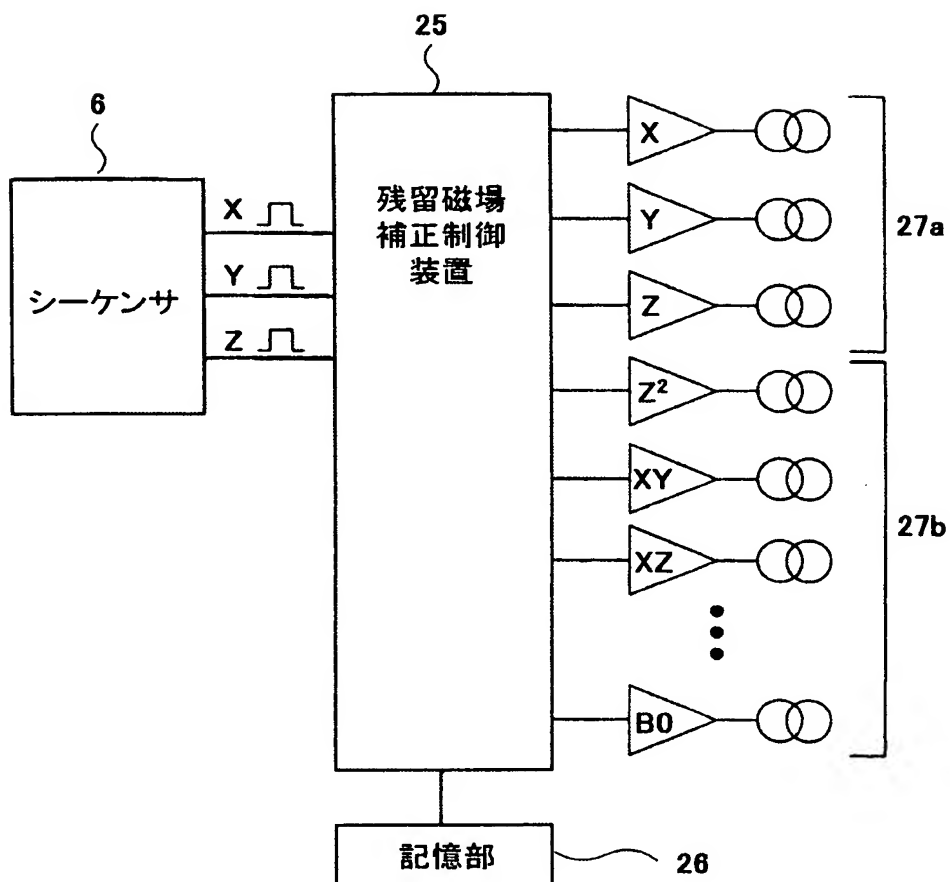
(16) 前記変更した強度の傾斜磁場を印加するための傾斜磁場補正制御信号を前記傾斜磁場発生手段に送信する工程と、

(17) 前記傾斜磁場の印加による前記残留磁場応答関数の変化を計算して更新し、該更新された残留磁場応答関数を前記記憶手段に記憶する工程により、前記傾斜磁場の補正の制御を行うことを特徴とする請求項17記載の磁気共鳴イメージング装置。

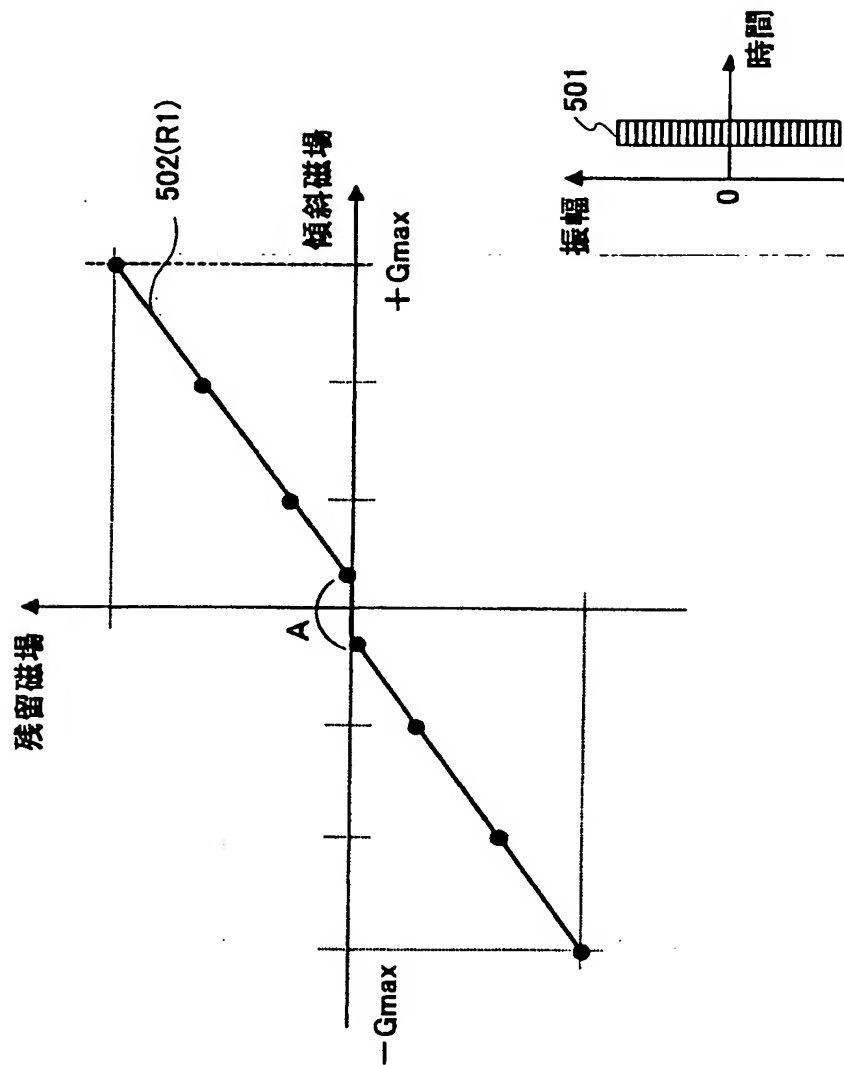
【図1】



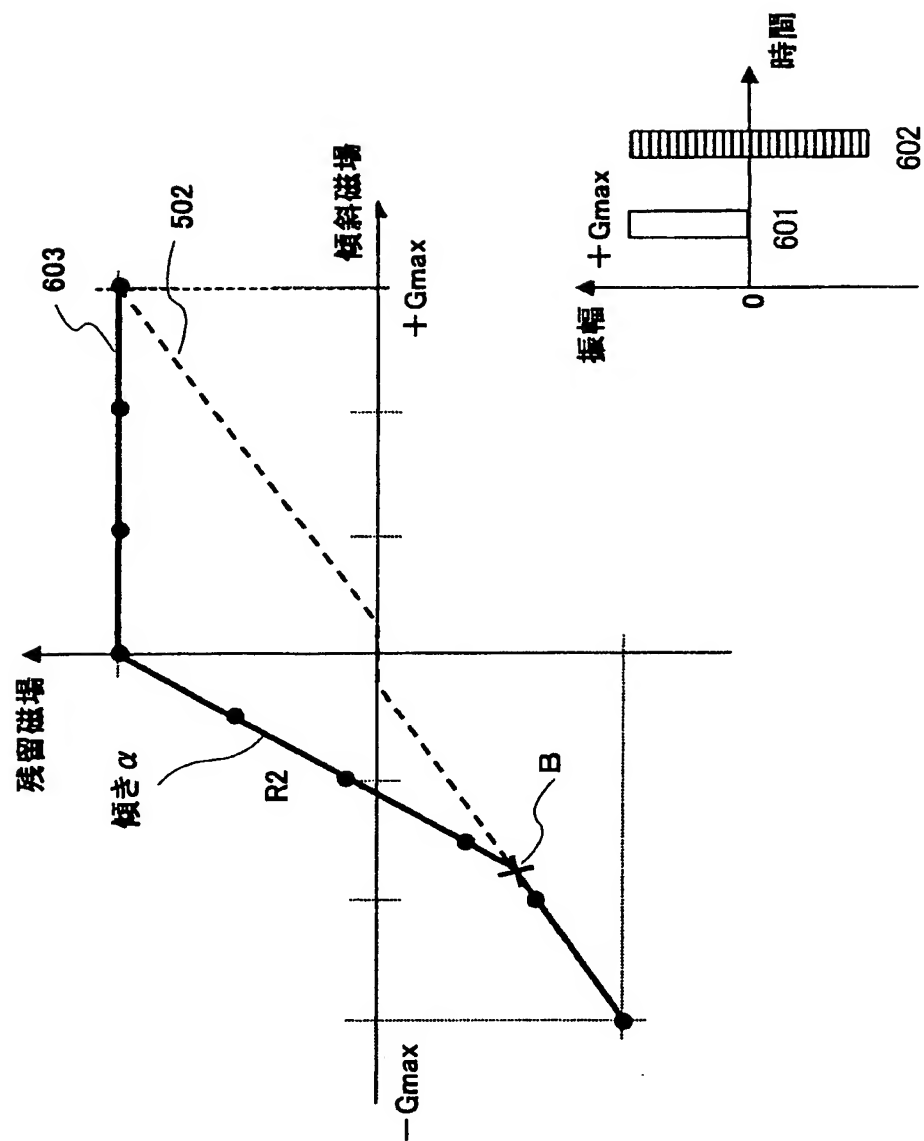
[図2]



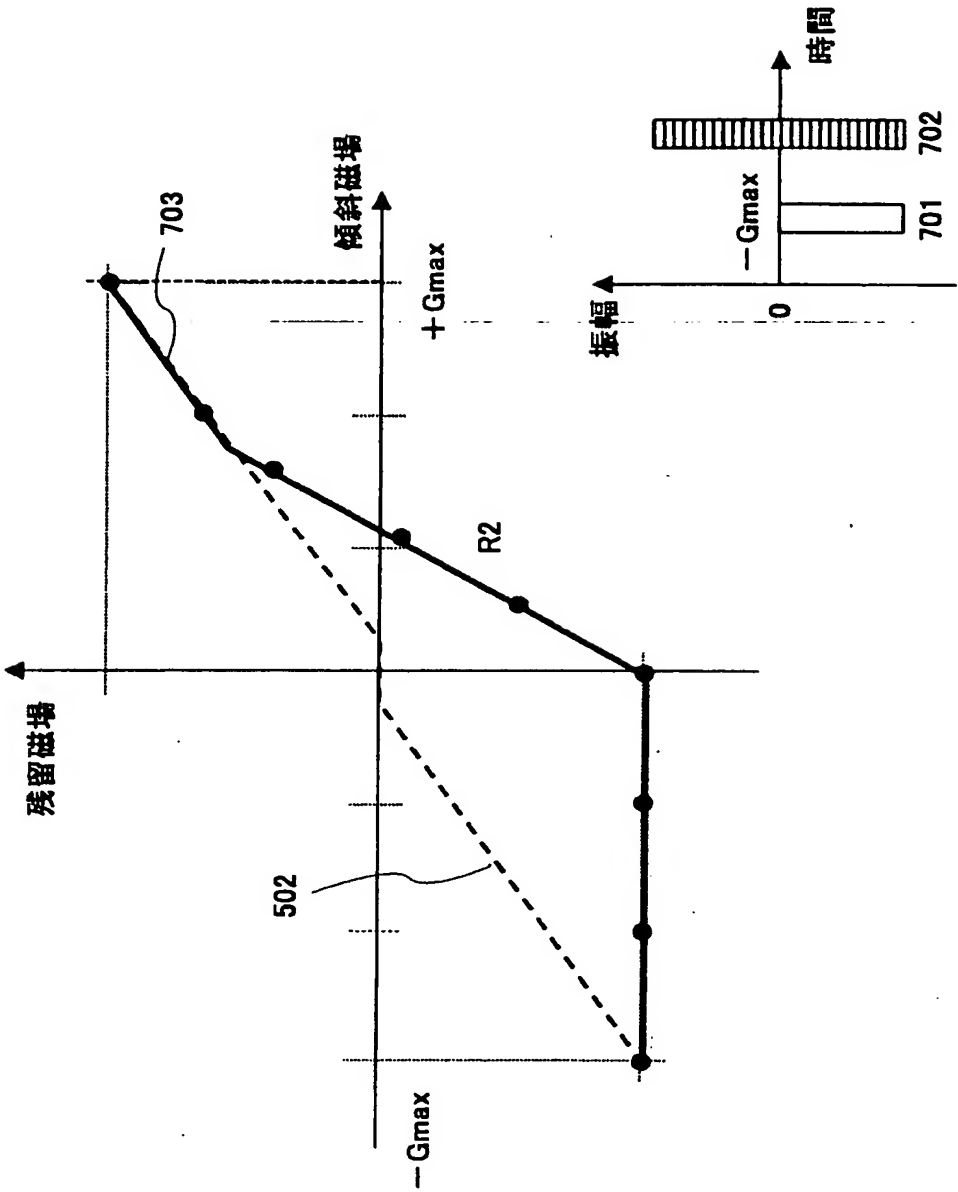
[図3]



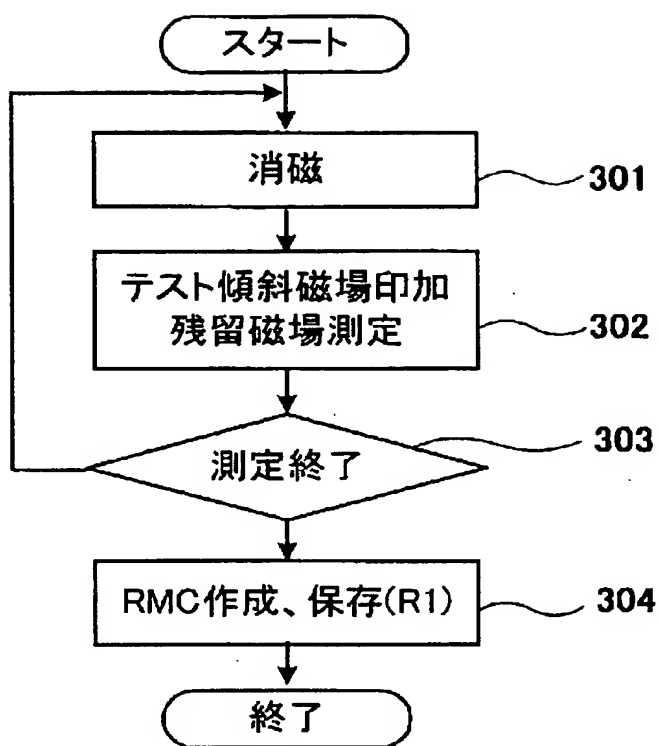
[図4]



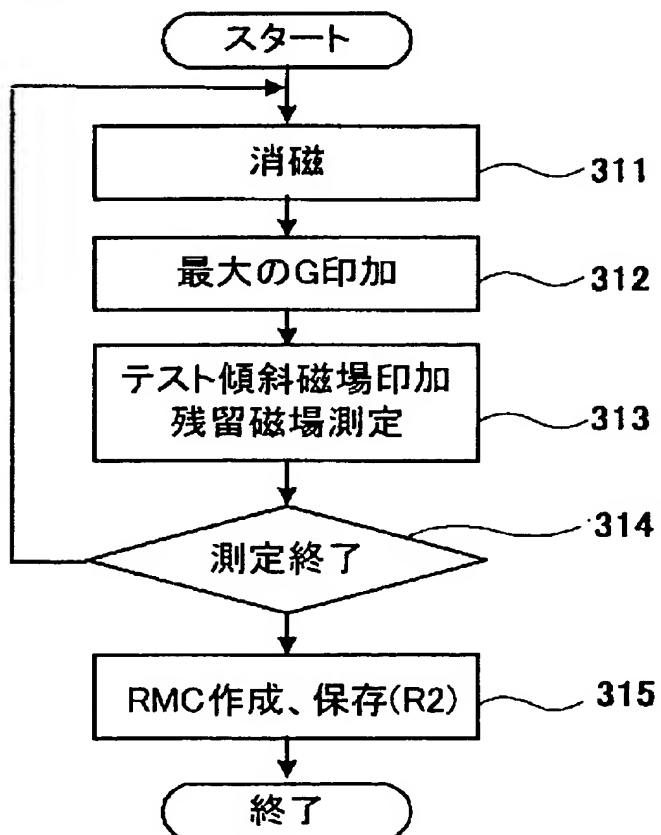
[図5]



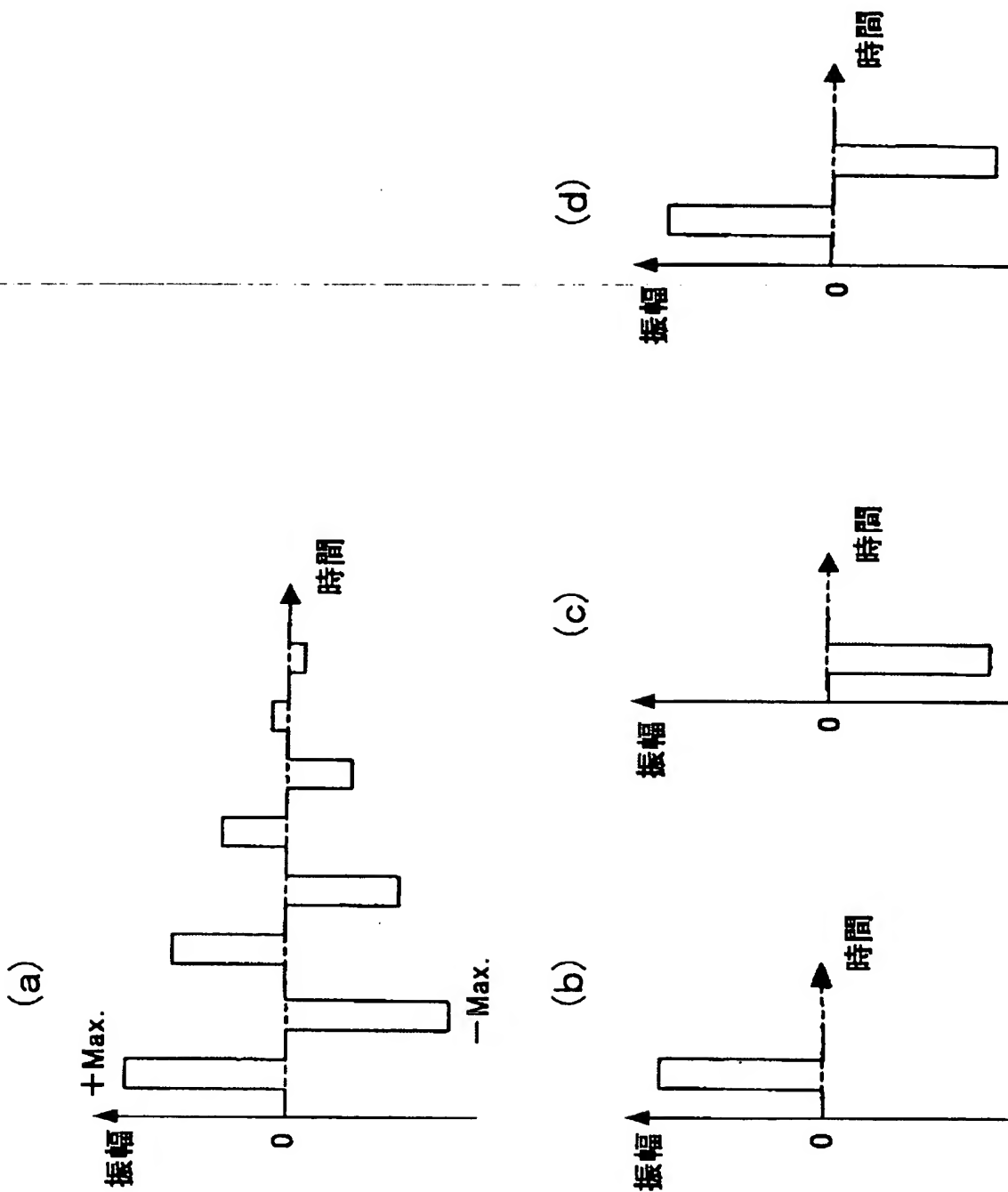
[図6a]



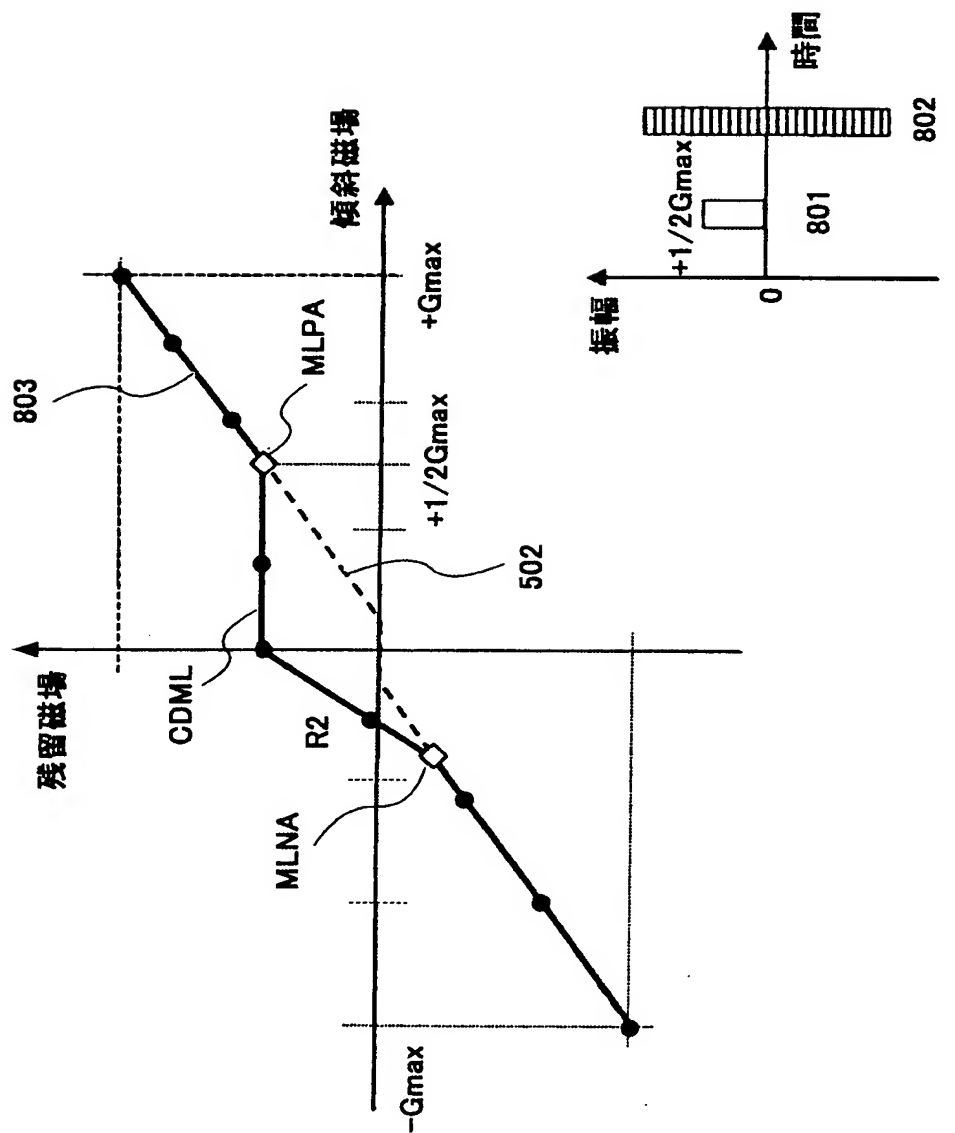
[図6b]



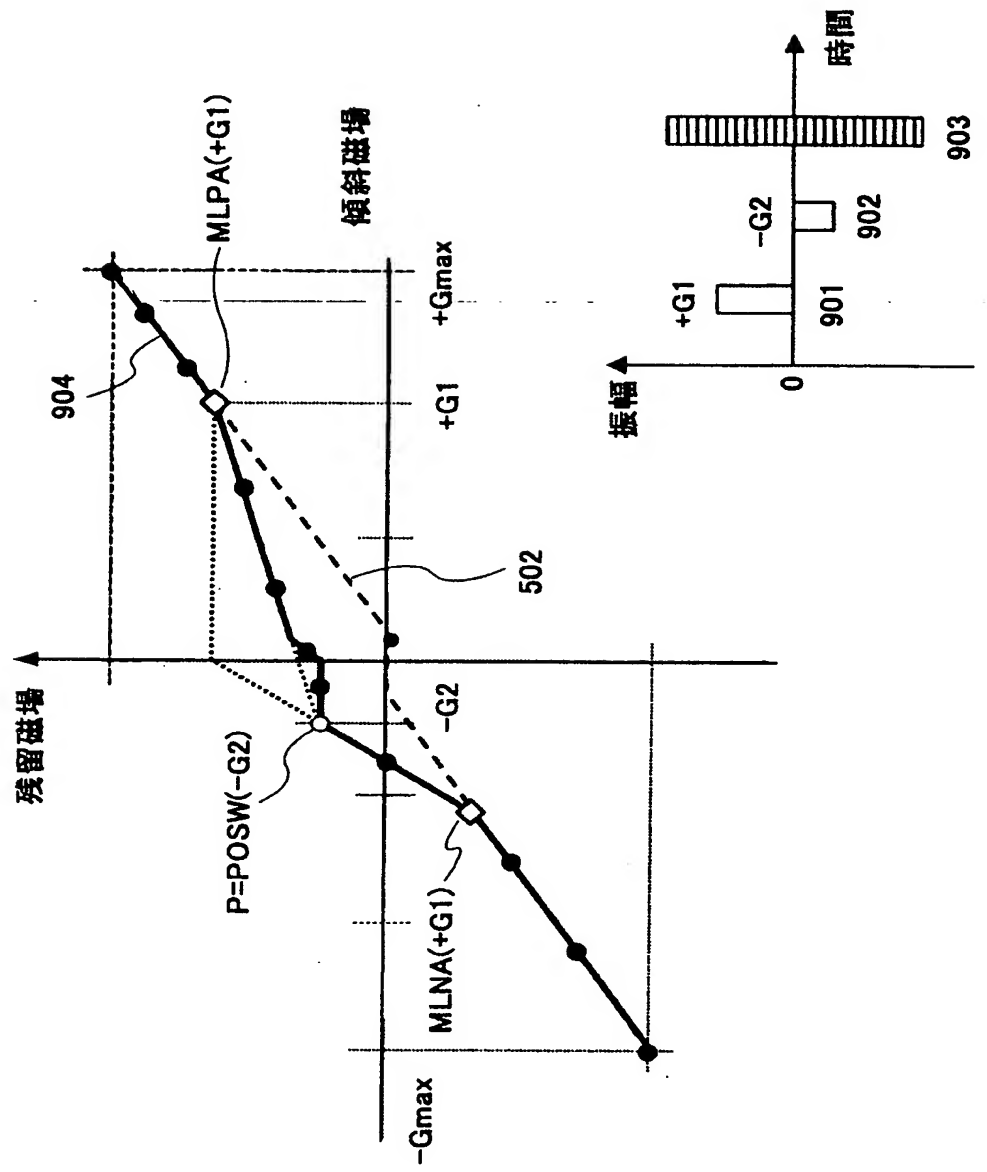
[図7]



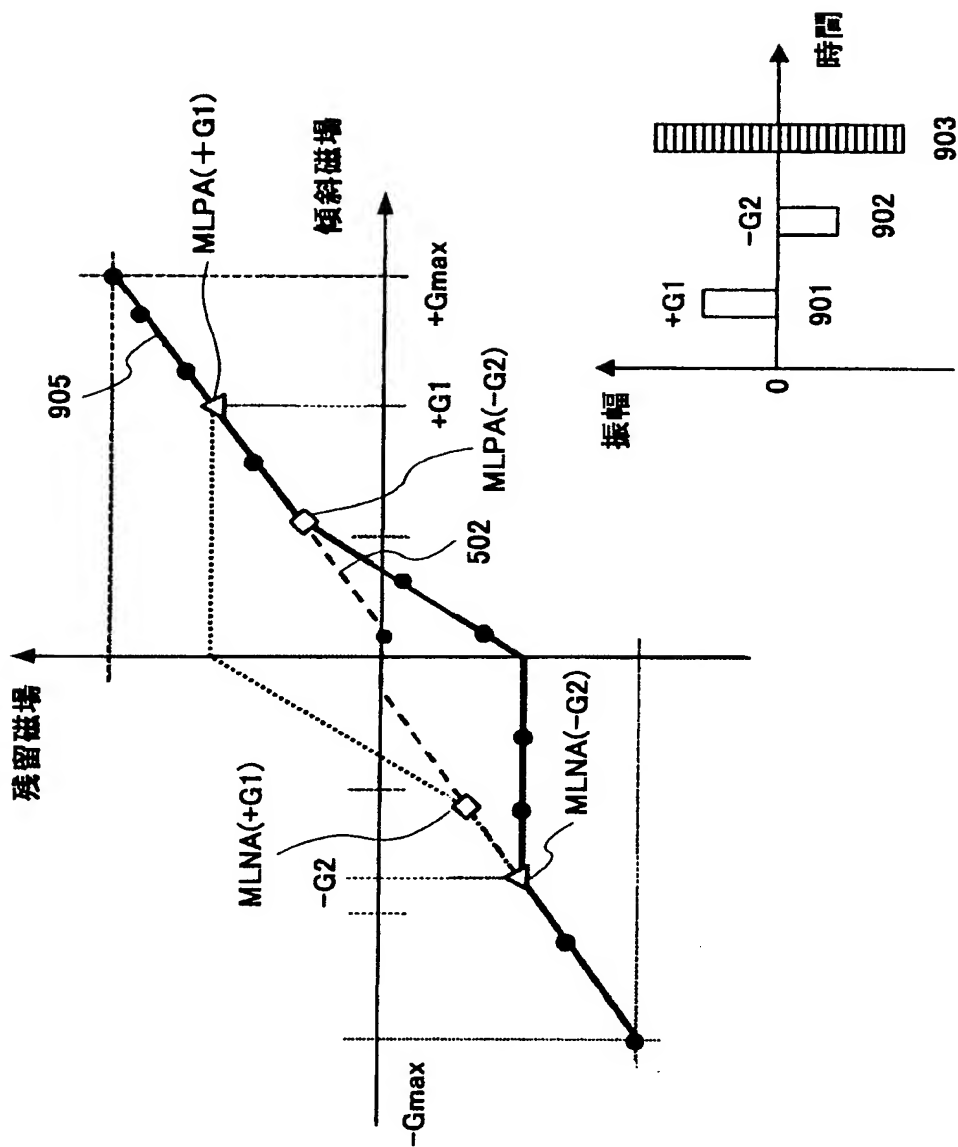
[図8]



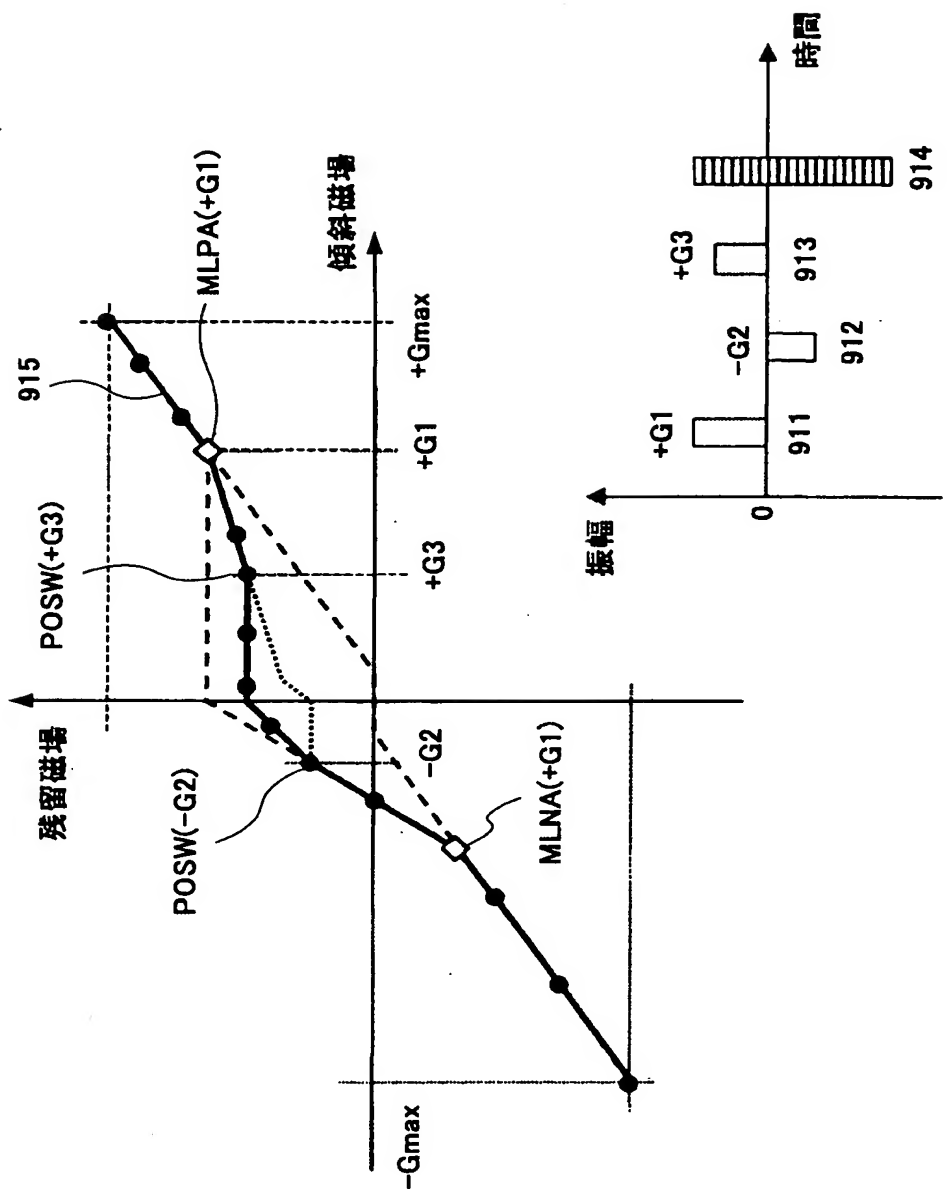
[図9]



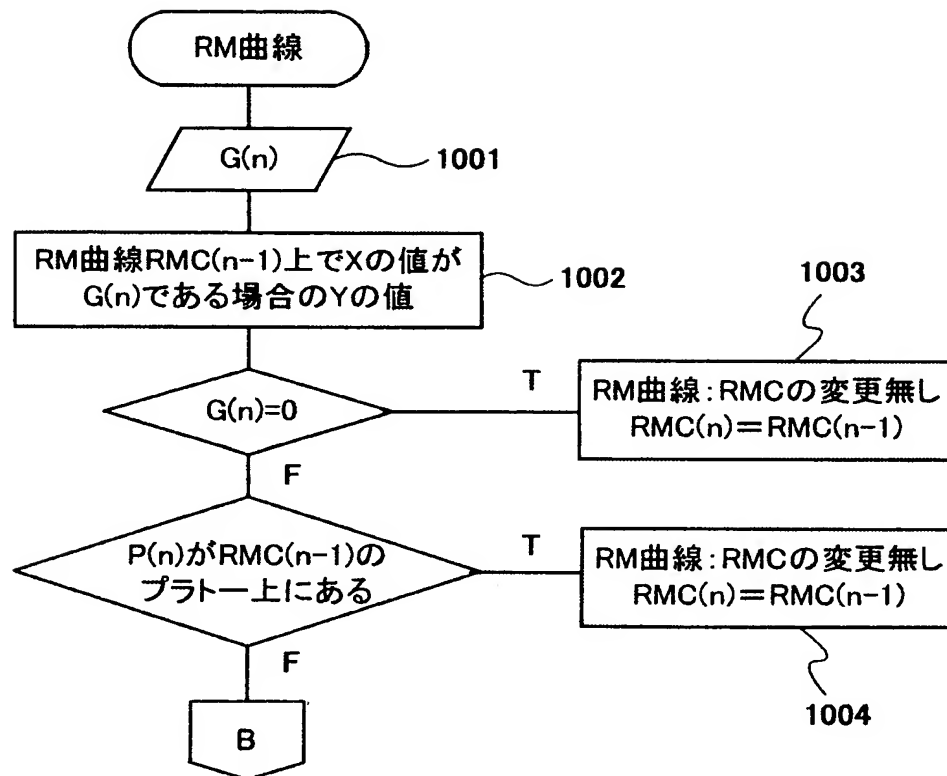
[図10]



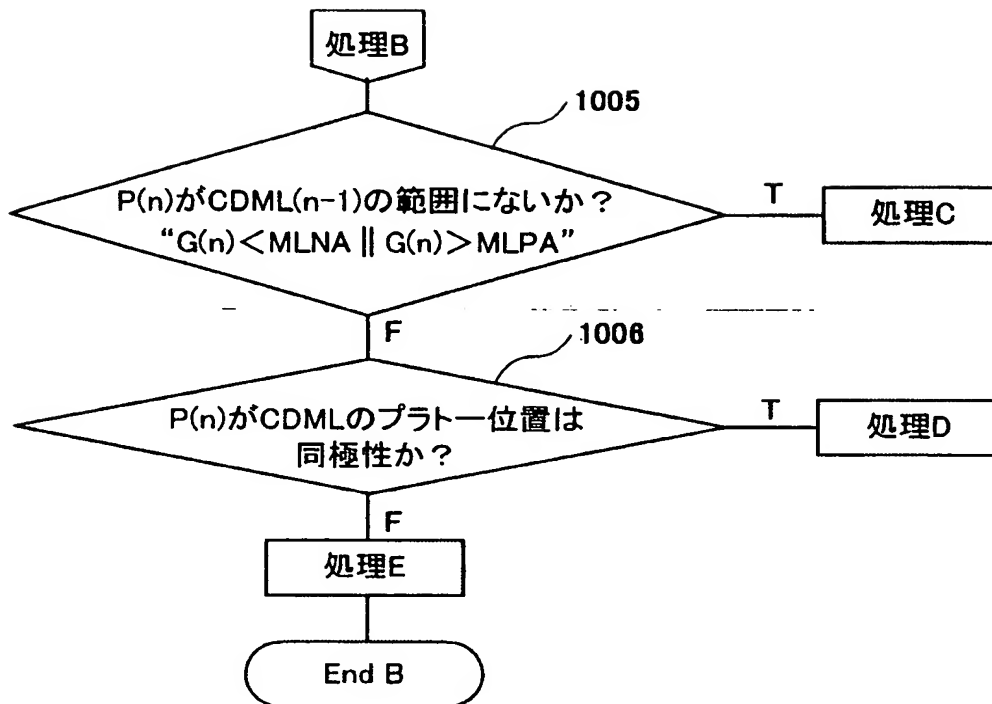
[図11]



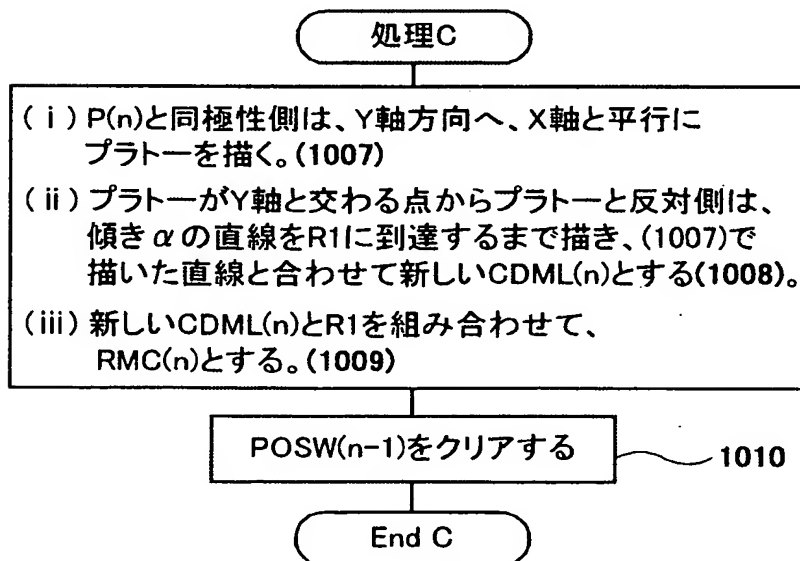
[図12]



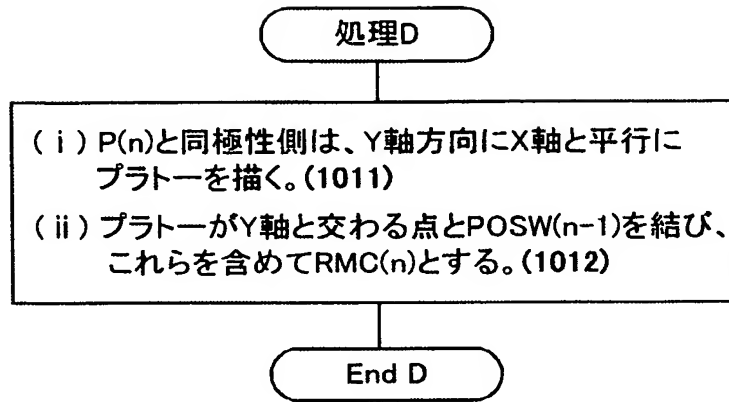
[図13]



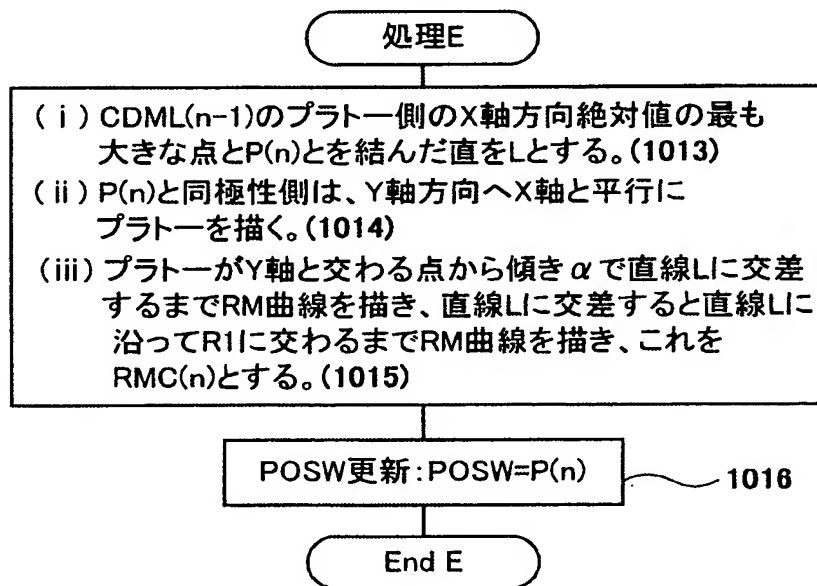
[図14]



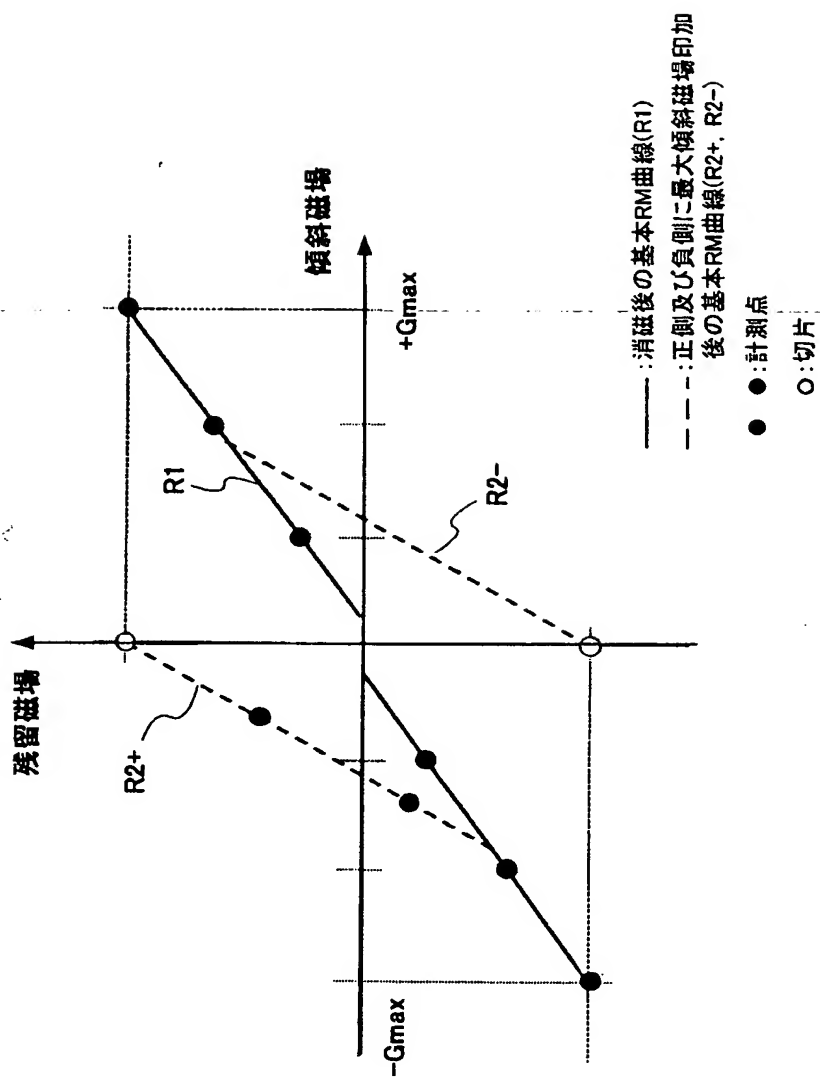
[図15]



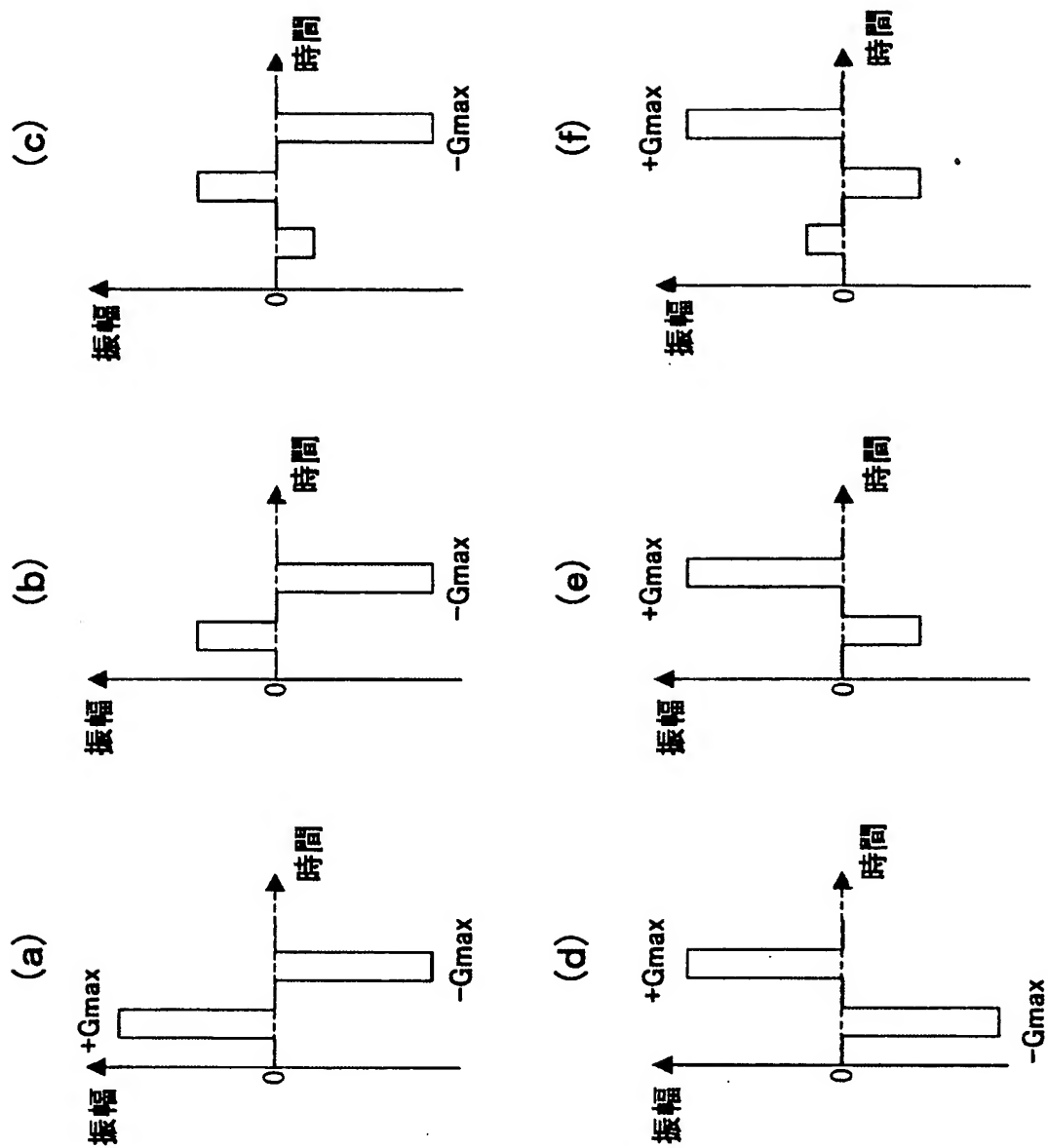
[図16]



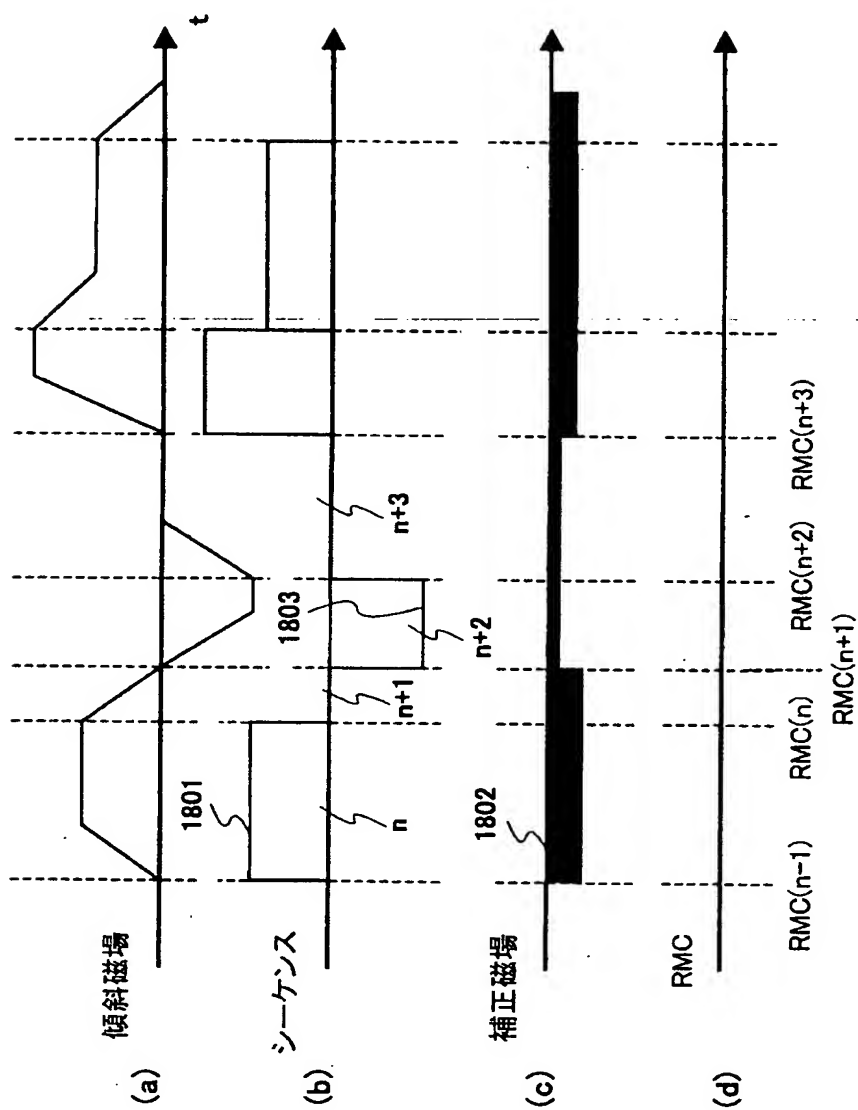
[図17]



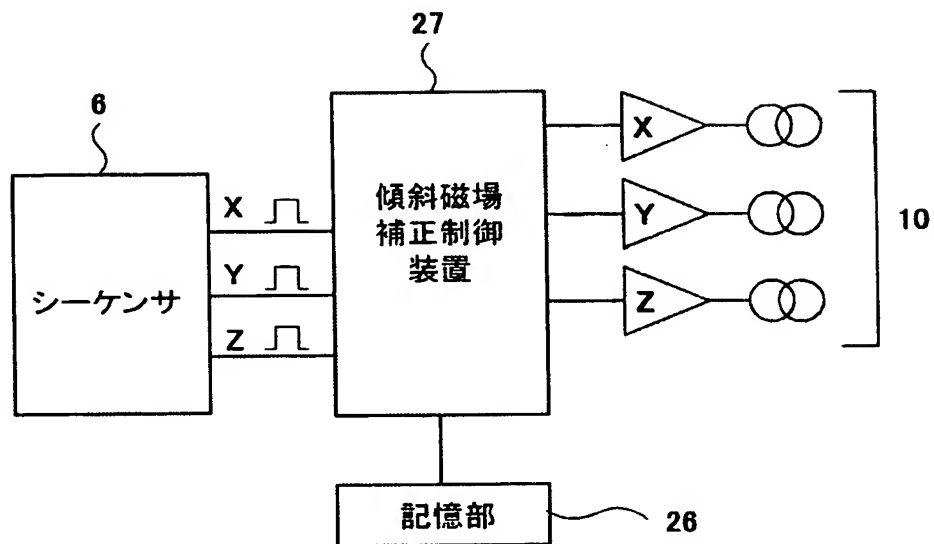
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007957

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ A61B5/055, G01R33/385

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ A61B5/055, G01R33/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 6-245917 A (GE Yokogawa Medical Systems, Ltd.), 06 September, 1994 (06.09.94), Column 3, lines 32 to 35 (Family: none)	11
A, D	JP 2000-157509 A (General Electric Co.), 13 June, 2000 (13.06.00), Column 7, line 48 to column 8, line 12; column 12, lines 23 to 28 & CN 1258001 A & EP 1004892 A1	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
24 August, 2004 (24.08.04)

Date of mailing of the international search report
07 September, 2004 (07.09.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007957

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-166898 A (General Electric Co.), 20 June, 2000 (20.06.00), Column 5, line 5 to column 6, line 11 & US 6043656 A & CN 1257201 A & EP 1004893 A1	1-18
A	JP 7-284484 A (GE Yokogawa Medical Systems, Ltd.), 31 October, 1995 (31.10.95), Column 4, lines 2 to 12; column 4, lines 27 to 34 (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ A61B5/055, G01R33/385

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ A61B5/055, G01R33/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 6-245917 A (ジーイー横河メディカルシステム株式会社) 1994. 09. 06 第3欄第32-35行目 (ファミリーなし)	11
A, D	J P 2000-157509 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2000. 06. 13 第7欄第48行目-第8欄第12行目、第12欄第23-28行目 & C N 1258001 A & E P 1004892 A1	1-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 08. 2004

国際調査報告の発送日

07. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

右高 孝幸

2W

9808

電話番号 03-3581-1101 内線 3290

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-166898 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2000. 06. 20 第5欄第5行目-第6欄第11行目 & US 6043656 A & CN 1257201 A & EP 1004893 A1	1-18
A	JP 7-284484 A (ジーイー横河メディカルシステム株式会社) 1995. 10. 31 第4欄第2-12行目、第4欄第27-34行目 (ファミリーなし)	1-18